



UNIVERSIDAD NACIONAL

“PEDRO RUIZ GALLO”

**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA E
INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE INDUSTRIAS
ALIMENTARIAS**



TESIS

**“OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y QUÍMICA DEL ALMIDÓN
DE YUCA (*Manihot esculentum*) VARIEDAD GUAYAPE”**

PARA OPTAR EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

PRESENTADO POR:

Bach. EDEN JIMÉNEZ RAMOS

Bach. SILVERIO MARTÍNEZ DE LA CRUZ

ASESORADO POR:

Ing. M.Sc. JUAN FRANCISCO ROBLES RUIZ

**LAMBAYEQUE - PERÚ
2016**



UNIVERSIDAD NACIONAL
“PEDRO RUIZ GALLO”
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA E
INDUSTRIAS ALIMENTARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE
INDUSTRIAS ALIMENTARIAS



TESIS

“OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y QUÍMICA DEL ALMIDÓN DE
YUCA (*Manihot esculentum*) VARIEDAD GUAYAPE”

PARA OPTAR EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

APROBADO POR:

Ing. M.Sc. RUBÉN DARÍO SACHUN GARCIA
PRESIDENTE

Ing. M.Sc. RONALD ALFONSO GUTIÉRREZ MORENO
SECRETARIO

Ing. M.Sc. JAIME LUCHO CIEZA SÁNCHEZ
VOCAL

Ing. M.Sc. JUAN FRANCISCO ROBLES RUIZ
ASESOR

LAMBAYEQUE 2016

DEDICATORIA

*En primer lugar agradecer a Dios por permitir que esta obra se concluya, ya que él es quien nos guía para seguir adelante a pesar de las adversidades de la vida y nos da fuerza necesaria en cada momento difícil. Para mis padres **Juan Jiménez y Lucía Ramos** quienes a pesar de sus bajos recursos me han apoyado en todo lo necesario incondicionalmente, les dedico esta tesis con mucho amor y cariño, pues sin ellos no hubiera sido posible culminar con este proyecto.*

**Eden Jiménez
Ramos**

AGRADECIMIENTOS

Un agradecimiento muy especial a mis hermanos James, Icela, Delsen y Eris, y a mi cuñado Marcos quienes me han estado apoyando de una y otra manera para seguir adelante.

A mis tíos Daniela, Alfonso por acogerme en su hogar y a toda la familia que siempre me han apoyado.

Al ingeniero Juan Francisco Robles Ruiz por haberme guiado desde el inicio en el desarrollo de esta tesis.

A todos los ingenieros y amigos que me dieron un consejo para seguir con el desarrollo de este proyecto y así lograr la meta trazada.

A mis amigos Neiser Quispe, Mirella Campos, Miguel Días y Emerson Díaz que siempre ha estado en los buenos y malos momentos.

Al señor Floriano Saucedo y todos los señores técnicos que me ayudaron en el desarrollo de la parte experimental que ha sido de gran ayuda.

Un agradecimiento al señor Gonzales por esa amistad.

Muchas gracias a todos ellos

DEDICATORIA

Esta tesis se la dedico a mi familia quienes por ellos soy lo que soy. Para mis padres por su apoyo, consejos, comprensión, amor, ayuda en los momentos difíciles, y por ayudarme con los recursos necesarios para estudiar. Me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi carácter, mi empeño, mi perseverancia, mi coraje para conseguir mis objetivos. A mis hermanos por estar siempre presentes, acompañándome para poderme realizar.

Martínez De La Cruz Silverio

AGRADECIMIENTO

A **Dios**, quién supo guiarme por el buen camino, darme fuerzas para seguir adelante y no desmayar en los problemas que se presentaban. A mis padres Luis Martínez y Felicia De La Cruz.

Mis hermanos, Cesar, Felicita, Yovana y Mario; por su aliento y motivación incesante para culminar satisfactoriamente mi carrera profesional. Agradecimiento especial Don Floriano Saucedo, y todos los técnicos de laboratorio. Al ingeniero Juan Francisco Robles, por su ayuda desinteresada en la realización del presente proyecto.

Martínez De La Cruz Silverio

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
INTRODUCCIÓN	12
OBJETIVOS	15
I. MARCO TEÓRICO	16
1.1. La Yuca (<i>Manihot esculentum</i>)	16
1.1.1 Generalidades de la yuca (<i>Manihot esculentum</i>)	16
1.2. Almidones	26
1.2.1. Generalidades de los almidones	26
1.2.2. Estructura y composición de los almidones	29
1.2.2.1. Componentes de los almidones	29
1.2.2.1.1 Amilosa	30
1.2.2.1.2 Amilopectina	31
1.2.3. Propiedades fisicoquímicas del almidón	34
1.2.4. Propiedades funcionales de los almidones	38
1.2.4.1. Gelatinización.	38
1.2.4.2. Gelificación y retrogradación	39

1.2.4.3. Birrefringencia.	40
1.3. Almidón de Yuca (<i>Manihot esculentum</i>)	41
1.3.1. Propiedades Fisicoquímicas del Almidón yuca (<i>Manihot esculentum</i>)	42
1.3.2. Propiedades funcionales del almidón de yuca (<i>Manihot esculentum</i>)	43
1.3.3. Requerimientos Fisicoquímicos del Almidón de Yuca	45
II. MATERIALES Y MÉTODOS	48
2.1. Población y Muestra	48
2.1.1. Población	48
2.1.2. Muestra	48
2.2. Materiales Técnicos e Instrumentales de Recolección de datos	48
2.2.1. Equipos de laboratorio	48
2.2.2. Materiales de Laboratorio	49
2.2.3. Reactivos y Soluciones	50
2.3. Método de análisis	51
2.3.1. Caracterización de la Materia Prima	51
2.3.1.1. Determinaciones físicas	51
2.3.1.2. Determinaciones Fisicoquímicas de la yuca (<i>Manihot esculentum</i>)	51
2.3.2. Caracterización del almidón	51
2.3.2.1. Determinaciones del análisis proximal del almidón	51
2.3.2.2. Determinación de amilosa y amilopectina	52

2.3.2.3.	Caracterización de morfología de los gránulos del almidón	52
2.3.2.4.	Caracterización de las propiedades funcionales del almidón	52
2.4.	Metodología experimental	52
2.4.1.	Caracterización de la Materia Prima	52
2.4.1.1.	Acondicionamiento de la materia prima	52
2.4.1.2.	Caracterización física de yuca (<i>Manihot esculentum</i>)	53
2.4.1.2.1.	Propiedades biométricas	53
2.4.1.2.2.	Rendimiento de la porción comestible	53
2.4.1.2.3.	Análisis fisicoquímico de la yuca	53
2.4.1.2.4.	Obtención del almidón de yuca (<i>Manihot esculentum</i>)	53
2.4.2.	Caracterización del almidón	57
2.4.2.1.	Caracterización fisicoquímica	57
2.4.2.2.	Contenido de amilosa y amilopectina aparente	57
2.4.2.3.	Caracterización de morfología de los gránulos del almidón	58
2.4.2.3.1.	Morfología del granulo (Microscopía óptica)	58
2.4.2.3.2.	Birrefringencia de granulo (Microscopía óptica)	58
2.4.2.3.3.	Tamaño del granulo (microscopia óptica)	58
2.4.2.4.	Caracterización de las propiedades funcionales	59
2.4.2.4.1.	Retrogradación	59
2.1.	Análisis estadístico	60

III.RESULTADOS Y DISCUSIONES	61
3.1.Caracterización de la yuca (<i>Manihot esculentum</i>) de variedad guayape.	61
3.1.1. Características biométricas y porción comestible	61
3.1.2. Composición fisicoquímica de la yuca	61
3.2. Caracterización del almidón de yuca (<i>Manihot esculentum</i>) variedad guayape	64
3.2.1. Composición proximal del almidón	64
3.2.2. Contenido de amilosa y amilopectina	68
3.3. Caracterización morfológica de los gránulos	70
3.3.1. Morfología del granulo	70
3.3.2. Birrefringencia del granulo	71
3.3.3. Tamaño de granulo	71
3.4. Propiedades funcionales del almidón	72
3.4.1. Temperatura de gelatinización	72
3.4.2.1. Índice de absorción de agua	74
3.4.2.2. Índice de solubilidad.	75
3.4.2.3. Poder de hinchamiento o factor de hinchamiento(FH)	76
3.4.3. Claridad de la pasta	77
3.4.4. Retrogradación	78
IV. CONCLUSIONES.	80

V. RECOMENDACIONES	82
VI. REFERENCIA BIBLIOGRAFICA	83
VII. ANEXOS	95

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Contenido	Página
1	Corte transversal de una tuberosa de yuca	19
2	Micrografías de gránulos de almidón de diversas especies	27
3	Esquema de la amilosa	30
4	Esquema de la amilopectina	31
5	Cruz de malta en gránulos de almidón de papa	40
6	Diagrama de bloque para la obtención de almidón de yuca (<i>Manihot esculentum</i>) de variedad guayape	55
7	Comparación fisicoquímica de la yuca	63
8	Comparación fisicoquímica del almidón de yuca	68
9	Micrografías ópticas de la forma del almidón de yuca	69
10	Micrografías ópticas de birrefringencia del almidón de yuca (<i>Manihot esculentum</i>) variedad guayape	70
11	Comparación de la temperatura de gelatinización de la yuca	
11	índice de absorción de agua del almidón de yuca (<i>Manihot esculentum</i>) variedad guayape a diferentes temperaturas	73

12	índice de solubilidad de agua del almidón de yuca (<i>Manihot esculentum</i>) variedad guayape	74
13	Poder de hinchamiento de almidón de yuca (<i>Manihot esculentum</i>) variedad guayape a diferentes temperaturas	75

INDICE DE TABLAS

Tabla	Contenido	Página
1	Clasificación taxonómica de la yuca (<i>Manihot esculentum</i>)	17
2	Composición química de la raíz de yuca (<i>Manihot esculentum</i>)	20
3	Propiedades de los componentes del almidón	32
4	Muestra la comparación de algunas propiedades fisicoquímicas de varios almidones	36
5	Requisitos fisicoquímicos del almidón de yuca	46
6	Características físicas de la yuca (<i>Manihot esculentum</i>) variedad guayape	60
7	Características fisicoquímicas de la yuca (<i>Manihot esculentum</i>) variedad guayape	62
8	Composición fisicoquímica del almidón la yuca	66
9	Temperatura de gelatinización del almidón de yuca (<i>Manihot esculentum</i>) variedad guayape	71
10	Índice de absorción de agua, índice de solubilidad en agua y poder de hinchamiento del almidón de yuca (<i>Manihot esculentum</i>) variedad guayape	72
11	Claridad de pasta del almidón yuca (<i>Manihot esculentum</i>) variedad guayape	76

RESUMEN

En el Perú existen más de 200 variedades de yuca, siendo la variedad guayape, una de las que más empleadas en la producción del afrecho, producto empleado en la elaboración de King Kong (alfajor gigante) en la región Lambayeque y obteniéndose como subproducto el almidón; por lo que la presente investigación se planteó como objetivo: Obtener y determinar las características fisicoquímicas del almidón de yuca (***Manihot esculentum***) variedad guayape, la misma que se desarrolló en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Química e Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.

La primera etapa consistió en evaluar la yuca mediante características biométricas, fisicoquímicas y determinar la porción comestible. En la segunda etapa se realizó la extracción y evaluación del almidón mediante características fisicoquímicas, estructurales, morfológicas y propiedades funcionales.

A continuación se muestran los resultados de evaluar la yuca mediante características biométricas: longitud 29,56 cm, diámetro 5,616 cm y peso 550,89 g.; fisicoquímicas: humedad 68,17%, proteínas 1,59%, lípidos 0,2%, fibra 0,71%, cenizas 1,39%, carbohidratos 28,65% y porcentaje de acidez 0,06%; porción comestible 83,05%. Así mismo se muestran los resultados de evaluar el almidón extraído mediante características fisicoquímicas: humedad 9,68%, carbohidratos 89,59%, proteínas 0,058%, lípidos 0,181%, fibra 0,17% cenizas 0,30%, azúcares reductores 0,23%, valor reductor alcalino 0,5; estructurales: amilosa aparente 21,51%, amilopectina 78,49%, amilosa total 22,67%; morfológicas: tamaño promedio del granulo, 5,22 μm y propiedades

funcionales: temperatura de gelatinización 66°C, absorción de agua a 90°C, 12,99, índice de solubilidad a 90°C, 8,55, poder de hinchamiento a 90°C, 15,26, claridad de pasta 59,35, retrogradación 5,32 en 24 horas.

Concluyendo que el almidón obtenido se puede aplicar en la industria alimentaria por su bajo contenido de lípidos y proteínas, asimismo por tener propiedades que resaltan como: Temperatura de gelatinización, alta claridad de pasta, baja y estable retrogradación en refrigeración.

ABSTRAC

In Peru there are more than 200 varieties of cassava, with the Guyape variety, one that most used in the production of bran, product used in the manufacture of king kong (giant gingerbread) in the Lambayeque region and obtained as a byproduct starch; so this research was the goal: obtaining and characterization physicochemical of cassava starch (*Manihot esculentum*) Guyape variety, the same that was developed in the laboratories of the faculty of chemical engineering and food industries of the national university Pedro Ruiz Gallo. The first stage was to evaluate cassava using biometrics, physicochemical characteristics and determine the edible portion. In the second stage extraction and evaluation it was performed using starch physicochemical, structural, morphological and functional characteristic properties.

The results of evaluating cassava by biometric characteristics are shown: 29.56 cm length, diameter and 5,616 cm weight 550.89 g .; Physicochemical: 68.17% moisture, 1.59% protein, 0.2% fat, 0.71% fiber, 1.39% ashes, carbohydrates 28,65% and 0.06% acidity percentage; 83.05% edible portion. Also evaluate the results of starch extracted are shown by physical and chemical characteristics: moisture 9.68%, 89.59% carbohydrate, protein 0.058%, 0.181% lipids, 0.17% fiber, 0.30% ash, reducing sugars 0, 23%, alkaline reducing value or 5; Structural: 21.51% apparent amylose, 78.49% amylopectin, 22.67% Total amylose; Morphological: average granule size 5.22 um and functional properties gelatinization temperature 66 ° C, water absorption at 90 ° C, 12,99,

solubility index at 90 ° C, 8.55, swelling power to 90 ° C, 15.26, 59.35 clarity pasta, demotion 5.32 in 24 hours.

Concluding that the starch obtained may be applied in the food industry for its low content of lipids and proteins also have properties by highlighting as gelatinization temperature, paste clarity high, low and stable refrigeration retrogradation.

INTRODUCCIÓN

El almidón que es el segundo polisacárido más abundante, se encuentra ampliamente distribuido en las plantas en donde es almacenado como reserva de hidratos de carbono en las semillas, frutas, tubérculos, raíces, y tallos. Es un polímero polidiserso que se presenta como polímero lineal en el caso de la amilosa y como polímero de alta ramificación en el caso de la amilopectina, contienen aproximadamente 17-27% de amilosa, y el resto de amilopectina. Algunos cereales, como el maíz, el sorgo y el arroz, tienen variedades llamadas “céreas” que están constituidas casi únicamente por amilopectina; hay otras que tienen hasta 90% de amilosa. La concentración relativa de estos dos polímeros está regida por factores genéticos típicos de cada cereal (Badui, 2006).

Las principales propiedades fisicoquímicas de un almidón son: composición proximal, características del grano (forma, tamaño), naturaleza cristalina, peso molecular, poder de hinchamiento, solubilidad, contenido relativo de la amilosa y características de la pasta que produce (Ospina y Ceballos, 2002).

Los almidones comerciales se obtienen de las semillas de cereales, particularmente de maíz, maíz céreo, maíz rico en amilosa, trigo, varios tipos de arroz, y de algunas raíces y tubérculos, particularmente patata, batata y tapioca (cassava). Tanto los almidones nativos como los almidones modificados tienen un número enorme de posibles aplicaciones en los

alimentos, que incluyen las siguientes: adhesivo, ligante, enturbiantes, formador de películas, estabilizante de espumas, agente antienviejamiento de pan, gelificante, glaseante, humectante, estabilizante, texturizante y espesante (Fennema, 1996).

El Almidón nativo se emplea en la fabricación de productos de diversos alimentos, como sopas (enlatadas en polvo), postres instantáneos, mezclas para flanes y natillas, salchichas y carnes frías, salsas productos de panadería y pastelería, y helados; aquí se aprovecha sus propiedades como espesante, relleno aglutinante, estabilizante y mejorador de textura (Ospina y Ceballos, 2002).

El almidón de yuca compite con dos mercados; uno especializado, donde el éxito depende de las características funcionales del almidón, y otro masivo, en el que se compite con precios. Para tal caso se necesita conocer las características de almidones que puedan aplicarse en la industria ya sea alimentaria, no alimentaria y que se puedan obtener a bajos precios (Ceballos y De la Cruz, 2002).

Con esta investigación se propuso obtener datos de las características de este almidón de yuca variedad guayape que ayuden a una mejor aplicación en la elaboración de productos y derivados industriales ya mencionados, a base de este aporte, seguir haciendo nuevas investigaciones o modificaciones para su mejor aprovechamiento. Además por su bajo precio que tiene la yuca puedan sustituir otros almidones de más alto precio dependiendo de sus propiedades.

Para el desarrollo de esta investigación se realizaron los siguientes análisis: propiedades biométricas, rendimiento de la porción comestible y determinaciones fisicoquímicas de la yuca (*Manihot esculentum*) tales como: humedad, proteína, grasa, fibra, ceniza y acidez; los carbohidratos se determinaron por diferencia, respecto a los otros componentes. Así como también los respectivos análisis del almidón que son; determinaciones del análisis proximal del almidón: humedad, proteína, grasa, fibra, ceniza, azúcares

reductores y sólidos totales; los carbohidratos se determinaron por diferencia con respecto a los otros componentes; así como también contenido de amilosa, valor reductor alcalino, acidez titulable y pH.

Asimismo se caracterizó los gránulos del almidón (Morfología, Birrefringencia y tamaño) y las propiedades funcionales del almidón tales como, temperatura de gelatinización, índice de absorción de agua, índice de solubilidad, poder de hinchamiento, claridad de la pasta y retrogradación.

OBJETIVOS

Objetivos Generales

- Obtener y determinar las características fisicoquímicas del almidón de yuca (*Manihot esculentum*) variedad guayape.

Objetivos Específicos

- Determinar las características biométricas y fisicoquímicas de la yuca (*Manihot esculentum*) variedad guayape.
- Determinar las características fisicoquímicas y características del granulo (forma, birrefringencia, tamaño) del almidón de yuca (*Manihot esculentum*) variedad guayape.
- Determinar las propiedades funcionales del almidón de yuca (*Manihot esculentum*) variedad guayape.

I.MARCO TEÓRICO

1.1. La Yuca (*Manihot esculentum*)

1.1.1 Generalidades de la yuca (*Manihot esculentum*)

La yuca es una especie de raíces amiláceas que se cultiva en los trópicos y subtrópicos. A pesar de que es uno de los cultivos alimenticios más importantes de los países tropicales, fuera de ellos es muy poco conocida.

La evidencia más antigua del cultivo proviene de los datos arqueológicos de que se cultivó en el Perú hace 4000 años y fue uno de los primeros cultivos domesticados en América. Las siguientes referencias al cultivo de la yuca provienen de la cultura Maya, hace 1400 años en joya de Ceren (El Salvador). Otra especie, la ***Mandioca esculenta*** se originó posiblemente más al sur, en Brasil y Paraguay (Montoya, 2007).

El nombre científico de la yuca es ***Manihot esculenta***, la raíz de la yuca es cilíndrica, oblonga, y alcanza el metro de largo y los 10 cm de diámetro. La cáscara es dura y leñosa, y no comestible. La pulpa es firme e incluso dura y antes de la cocción, surcada por fibras longitudinales más rígidas; muy ricas en hidratos de carbono y azúcares, se oxida rápidamente una vez desprovista de la corteza. Según la variedad, puede ser blanca o amarillenta (Cock, 1989).

Es un cultivo de amplia adaptación ya que se siembra desde el nivel del mar hasta los 1 800 msnm, a temperaturas comprendidas entre 20 y 30 °C con una óptima de 24 °C, una humedad relativa entre 50 y 90 por ciento con una óptima de 72 por ciento y una precipitación anual entre 600 y 3 000 mm con una óptima de 1 500 mm. Su ciclo de crecimiento desde la siembra a la cosecha, depende de las condiciones ambientales: es más corto, de 7 a 12 meses, en áreas más cálidas y es más largo, 12 meses o más, en regiones con alturas de 1 300 a 1 800 msnm (Aristizábal y Sánchez, 2007).

Atributos específicos, como alta eficiencia en la producción del hidrato de carbono, tolerancia a sequía y diferentes calidades de suelo (Buschmann *et. al.*, 2000), habilidad de resistir al ataque de plagas y enfermedades más importantes y flexibilidad de cosechar cuando los agricultores necesitan (Ceballos *et. al.*, 2004); hace que la yuca sea un cultivo importante, sobre todo a los agricultores de pequeña escala y recursos limitados.

Dependiendo del uso final de la yuca, esta puede ser clasificada como de calidad culinaria cuando se destina al consumo humano directo; como industrial cuando se usa para la producción de subproductos tales como harina, almidón, trozos secos o como de doble propósito, es decir, fenotipos que podrían ser usados tanto para el consumo humano como industrial (Aristizábal y Sánchez, 2007).

1.1.2 Clasificación taxonómica

La clasificación taxonómica se muestra en la tabla 1.

La familia ***Euphorbiaceae*** está constituida por unas 7200 especies que se caracterizan por el desarrollo de vasos laticíferos compuestos por células secretoras llamadas galactocitos. Esto es lo que produce la secreción lechosa que caracteriza a las plantas de esta familia. Su centro de origen genético se encuentra en la Cuenca Amazónica; dentro de esta familia se encuentran tipos arbóreos como el caucho, ***Hevea brasiliensis***; arbustos como el ricino o

higuerilla, ***Ricinus communis*** y numerosas plantas ornamentales, medicinales y malezas además del genero ***Manihot*** (Aristizábal y Sánchez, 2007).

Tabla 1: Clasificación taxonómica de la yuca (*Manihot esculentum*)

CLASIFICACIÓN TAXONOMICA	
REINO:	<i>Plantae</i>
DIVISIÓN:	<i>Magnoliophyta</i>
CLASE:	<i>Magnoliopsida</i>
ORDEN:	<i>Euphorbiales</i>
FAMILIA:	<i>Euphorbiaceae</i>
SUBFAMILIA:	<i>Crotonoideae</i>
TRIBU:	<i>Manihoteae</i>
GÉNERO:	<i>Manihot</i>
ESPECIE:	<i>Esculenta</i>
NOMBRE BINOMIAL	
<i>Manihot esculenta</i>	

Fuente: Aristizábal *et al.*, (2000)

1.1.3 Estructura de la yuca

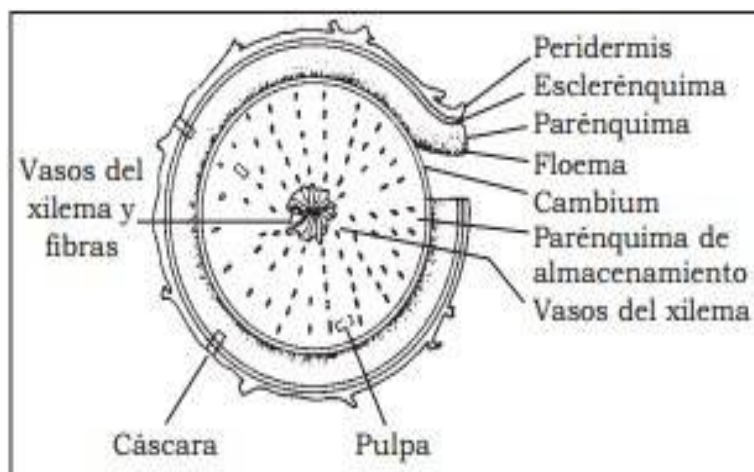
1.1.3.1 La cáscara

Este tejido está a su vez compuesto por la peridermis y la corteza. La peridermis está compuesta por células de corcho (súber o floema) muertas que envuelven la superficie de la raíz (figura 1). La textura de la peridermis, que puede ser de rugosa a más o menos lisa, su color es utilizado en la identificación de cultivares, pues es una de las características más estables en el orden morfológico, las raíces pueden presentar una coloración que va desde el blanco o crema, hasta el café claro y el marrón oscuro.

Por debajo de la peridermis se encuentra la corteza o capa cortical (felodermis); éste es un tejido de 1 a 2 mm de espesor, cuyo color varía desde

Figura 1: Corte transversal de una tuberosa de yuca. el

blanco, crema hasta el rosado. Esta característica también es utilizada para identificar los cultivares. En la corteza se encuentran comprimidos los tejidos del floema, que contienen las más altas concentraciones del glucósido cianogénico; en esta capa también es posible observar los canales laticíferos especialmente en las raíces jóvenes (Ceballos y De la Cruz, 2002).



Fuente: Ceballos y De la Cruz. (2002)

1.1.3.2 La pulpa

Constituye la parte utilizable de la raíz, y por lo tanto es el tejido de mayor relevancia económica, es una masa solida compuesta, principalmente, por tejido secundario del xilema derivado del cambium, cuyas células contienen

almidón en abundancia en forma de gránulos redondos del tamaño desigual. La pulpa también es conformada por células parenquimáticas, que en el caso de la yuca adquieren un desarrollo de tal magnitud que los tubos conductores del xilema quedan reducidos a pequeños conjuntos aislados a lo largo y ancho del parénquima reservante. El cambium, del que se derivan los tejidos de la pulpa, se encuentran en la parte más externa separando la pulpa de la corteza; este también genera células del floema secundario hacia el exterior (Ceballos y De la Cruz, 2002).

Las células del parénquima que conforman gran parte de la pulpa de la raíz de la yuca contienen de uno a numerosos amiloplastos. Dentro de los mismos se va acumulando el almidón en forma de gránulos más o menos esféricos, aunque existen gran variedad de formas como la cupuliforme, bicóncavo, convexa mirtiformes, etc. (Ceballos y De la Cruz, 2002).

1.1.3.3 Las fibras centrales

En el centro de la raíz hay filas de vasos duros de xilema y esclerénquima, los cuales forman las fibras centrales de la raíz (Ceballos y De la Cruz, 2002).

1.1.4 Valor nutricional

La yuca es altamente energética, con muy poco valor proteico, pero contienen cantidades significativas de vitamina C, tiamina, riboflavina, y niacina (tabla 2). Las raíces de la yuca tienen un aproximado de 30 a 40% de materia seca, una proporción más alta que la de otras raíces y tubérculos. El contenido de la materia seca depende de factores como la variedad, condiciones climáticas y la sanidad de la planta. El almidón y los azúcares son los componentes predominantes (aproximadamente un 90%) de la materia seca siendo el almidón mucho más importante. La energía metabolizable de la yuca seca es de 3500 a 4000 kcal/g, es similar a la de la harina de maíz (Cock, 1989).

Las hojas de yuca tienen volúmenes de proteína entre 20 a 22%, con base en peso seco (Chávez *et. al.*, 2000), pero sus raíces son bajas en proteína (2-3%

con base en peso seco) aunque puede ser considerablemente más alto (6-8%) en algunos cultivares criollos, particularmente de Centroamérica (Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), 2002; Ceballos *et. al.*, 2006).

1.1.5 Deterioro poscosecha de yuca

En general se han reconocido dos tipos de deterioro, designados como deterioro fisiológico o primario y microbiano o secundario de las raíces (Booth, 1976).

Tabla 2: Composición química de la raíz de yuca (*Manihot esculentum*)

COMPONENTES DE RAÍZ	CONTENIDO	RAÍZ *	HARINA*
Energía	1460kcal/kg	162kcal/100	335kcal/100
Humedad	66,00%	58,9%	14,3%
Carbohidratos	30.7%	39,3%	80,9%
Proteínas	1,2%	0,8%	1,7%
Grasa	0,2%	0,2%	0,5%
Fibra	3,1%	1,1%	1,8%
Ceniza	1,9%	0,8%	2,6%
Calcio	3,30 mg/kg	25mg	155mg
Hierro	7 mg/kg	0,5mg	5,3mg
Fosforo	4,40 mg/kg	52mg	110mg
Vitamina A	0,21 mg/kg	1,0 mg	0mg
Tiamina	0,6 mg/kg	0,04 mg	0,08mg
Riboflavina	0,8 mg/kg	0,04 mg	0,07mg
Niacina	6 mg/kg	0,76 mg	1,60mg

Fuente: Ospina y Ceballos (2002); Collazos (1996) *

1.1.5.1 Deterioro fisiológico pos cosecha en la yuca (DFP)

El DFP en yuca es una respuesta de estrés abiótico, que aparece 24 a 48 horas después de la cosecha y se manifiesta por cambios fisiológicos y bioquímicos de ultra estructura de la raíz (Rickard y Coursey, 1981; Wheathey *et. al.*, 1985). Además se acompaña por un aumento de la respiración y movilización de almidón a los azúcares; aumento en la producción de acetileno (Hirose *et. al.*, 1984) y contenido cianogénico en las raíces; aumentando la actividad de varias enzimas, tales como, deshidrogenasas, peroxidasas, catalasas, fenilalanina amoniolasa (PAL) y fenol oxidasa (Plumbey *et.al.*,1981; Rickard, 1982; Hirose, 1986); cambios en la composición de la membranas lipídicas (Lalaguna y Agudo, 1989); y proceso activo involucrando cambios en la expresión de genes y síntesis de nuevas proteínas, a través de inhibición del ciclohexamida (Uritani *et. al.*, 1984; Beeching *et. al.*,1995; Beeching *et. al.*,1995).

1.1.5.2 Deterioro microbiano poscosecha en la yuca

El deterioro microbiano o secundario es causado por agentes patógenos (hongos y/o bacterias), que inducen fermentación y ablandamiento de las raíces. Este deterioro ocurre después del deterioro fisiológico e implica pudrición microbiana a los 5-7 días después de la cosecha (Booth, 1976).

El deterioro microbiano está asociado con la actividad de varios microorganismos patógenos; se acelera por tanto en un ambiente en que la humedad relativa y la temperatura son altas, especialmente en las raíces que tengan daños físicos (Sánchez y Alonso 2002). Por tanto en estudios etiológicos se han aislado del tejido afectado por hongos de géneros ***Penicillum*, *Aspergillus*, *Rhizopus* y *Fusarium***, y bacterias de

Pseudomonas* y *Corynebacterium (Booth, 1976; Noon y Booth, 1977; Wenham, 1995).

1.1.5.3 Factores que inciden en el deterioro fisiológico y microbiano en la poscosecha en yuca

Los factores más importantes en la incidencia de ambos tipos de deterioro de las raíces de yuca son los daños mecánicos, las diferencias entre variedades, las condiciones edafoclimáticas y poda de la parte aérea de la planta (Wheatley, 1983). El inicio y la intensidad del deterioro de las raíces de yuca están estrechamente relacionadas con la presencia de daños físicos en las raíces (Booth, 1976).

Varios estudios de susceptibilidad al deterioro muestran amplia variación entre y dentro de las variedades (Wheatley *et. al.*, 1985, Cortes *et al* 2002); posiblemente por diferencias en la facilidad de cosecha y por la correlación positiva entre el contenido de materia seca de las raíces y el grado de deterioración fisiológica Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), 1977; (Wheatley *et. al.*, 1985).

El deterioro fisiológico necesita oxígeno para su desarrollo e involucra reacciones enzimáticas; se puede evitar impidiendo el acceso de oxígeno a los tejidos parenquimáticos o inhibiendo reacciones enzimáticas (Zapata, 2001). La luz no influye en el proceso de deterioro.

La humedad en la raíz es importante en la conservación y mantenimiento del peso de la misma (Cenóz *et. al.*, 2001).

Se ha encontrado que el comportamiento de un mismo cultivar al deterioro puede variar en el transcurso del año, posiblemente como consecuencia de los cambios climáticos (Wheatley *et. al.*, 1985). El nivel de deterioro de las raíces se reduce mediante la poda de la parte aérea de las plantas. Cuando el periodo entre la poda y la cosecha es de 1-2 semanas, las raíces adheridas al tallo se

deterioran menos que las raíces sueltas; y cuando el periodo es de tres semanas las raíces mantenidas, en una u otra forma, fueron resistentes al deterioro (Lozano *et. al.*, 1987).

1.1.6 Factores que inciden en la calidad de la yuca

Existen diferentes factores que pueden incidir sobre la calidad de la yuca como la variedad, la edad de la planta, los efectos ambientales como plagas y enfermedades, la distribución de la precipitación, temperaturas (extremas y promedio), las deficiencias del suelo, la fertilización del mismo y la rotación del lote, la densidad de siembra y los cultivos asociados, entre otros (Wheatley, 1991).

1.1.6.1 Efecto de la variedad

La variabilidad genética hace que se presenten rangos de contenido en los componentes más importantes de la raíz tales como carbohidratos (almidón y azúcares), ácido cianhídrico (HCN) y fenoles. Estudios realizados en el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), 1977 demostraron que es factible aumentar el contenido de almidón mediante el mejoramiento genético. Sin embargo, no existen estudios relacionados con la calidad del almidón (propiedades de textura o cocción) que permitan extraer conclusiones acerca de su heredabilidad. La variación genética de la acumulación de fenoles después de la cosecha determina diferencias entre los clones con respecto a su susceptibilidad al deterioro fisiológico. Los contenidos de ácido cianhídrico (HCN) varían de una variedad a otra y dentro de una misma variedad de una planta a otra (Arizábal y Sánchez, 2007).

1.1.6.2 Efecto de la edad de la planta

Dos características hacen que la edad de la yuca influya sobre su calidad: es un cultivo de ciclo largo y no tiene un período definido de maduración. El rendimiento de las raíces se puede mantener más o menos constante durante

varios meses, pero su calidad para el consumo humano varía. Después de los 12 meses, en las condiciones del trópico bajo, aumenta el contenido de fibra de la raíz de yuca. Además, la susceptibilidad de la raíz a las pudriciones precosecha también aumenta con la edad. Los contenidos de almidón, azúcares, HCN, fibra y proteína en el parénquima no cambian con la edad de la planta. Sin embargo, se ha encontrado que aumenta el tiempo de cocción y que la calidad culinaria disminuye con la edad de la planta (Arizábal y Sánchez, 2007).

1.1.6.3 Efecto ambiental

El ambiente interacciona con la base genética de la planta para determinar la calidad de la raíz. A pesar de tratarse de un cultivo de propagación vegetativa, en la yuca se observa gran variación entre plantas de un mismo clon sembradas en un solo lote y cosechadas en un tiempo dado, en cuanto a su rendimiento en el campo y calidad. Aunque esto se debe en parte a microvariaciones en las condiciones edafoclimáticas y bióticas, la calidad de la estaca sembrada también juega un papel importante. Por ello, se debe seleccionar adecuadamente el material de siembra para asegurar rendimientos satisfactorios, recomendación que debe regir también para la calidad de la raíz (Arizábal y Sánchez, 2007).

Otras variables como la alta densidad de siembra y el estrés de agua conllevan a un menor contenido de almidón. El efecto del estrés sobre la calidad que se observa con frecuencia es el fenómeno llamado “vidriosidad”; en este caso la raíz fresca se ve aguada y con poco almidón, y al cocinarla se torna dura y vidriosa o traslúcida. Se observa que la vidriosidad está asociada con una disminución de los contenidos de la materia seca y el almidón y con un aumento en el contenido de los azúcares. Existe relación entre la disminución del contenido de almidón y altas precipitaciones durante el último mes antes de la cosecha. Así, el incremento de lluvias posterior a un periodo seco durante los últimos 3 meses antes de la cosecha ocasiona menores contenidos de almidón

en la yuca (Moreno y Gourdj, 2015). Las disminuciones en el contenido de almidón de yuca genera menores rendimientos de extracción con una mayor cantidad de residuos y gasto de agua en el proceso (Maieves, *et. al.*, 2011).

1.1.7 Relación entre la calidad de la yuca y sus parámetros fisicoquímicos

Algunos parámetros de calidad son fáciles de relacionar con la composición química de la raíz; es el caso del sabor amargo que se debe principalmente al HCN y en parte a los fenoles, o el de la textura fibrosa que se relaciona con la fibra del parénquima. Sin embargo, la mayoría de los factores son difíciles de relacionar en esta forma porque son de carácter netamente subjetivo e involucran varios componentes. La textura y cocción de las raíces de yuca están muy relacionadas con la calidad del almidón. Sin embargo, no es solo el almidón el único elemento que determina estas características, sino también otros factores relacionados con propiedades reológicas y físicas, o sea con los cambios que ocurren durante la cocción del almidón. Los compuestos fenólicos, involucrados en los procesos de deterioro fisiológico poscosecha, reducen la calidad de la yuca fresca cambiándole el sabor y el olor al cocinarla (FAO, 2007).

La calidad de la yuca seca para consumo humano o animal depende no solamente de la materia prima, sino también del procesamiento. Un tiempo de secado prolongado puede dar como resultado un producto de baja calidad, debido al tiempo que deja disponible para que se efectúen cambios enzimáticos relacionados con el deterioro fisiológico, el crecimiento de hongos y levaduras y la producción de taninos. La calidad también puede ser afectada por los contenidos de humedad, azúcares, fenoles, presencia de aflatoxinas y fibra en la raíz fresca (Wheatley, 1991).

1.2. Almidones

1.2.1. Generalidades de los almidones

El almidón es el principal carbohidrato de reserva sintetizado por las plantas superiores constituyendo una fuente de energía esencial para muchos organismos, especialmente el hombre (Buleón *et. al.*, 1990).

El almidón ha constituido una parte importante en la dieta del hombre desde tiempos prehistóricos; es el segundo polisacárido más abundante después de la celulosa y es el primero en importancia desde el punto de vista comercial al utilizarse ampliamente en la industria alimenticia y farmacéutica (Sivack y Preiss, 1998). Se encuentra en forma de gránulos insolubles en las semillas o granos, tubérculos, raíces y tallos de las plantas, de las cuales constituye su principal forma de reserva energética que es utilizada durante los periodos de dormancia, germinación y crecimiento de las plantas (Beynum y Roels, 1985; Biliaderis, 1991, Badui, 2006; Wang *et al.*, 2007).

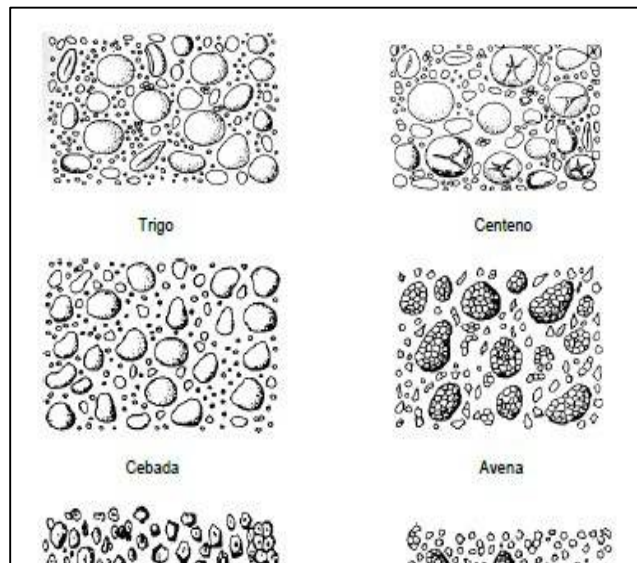
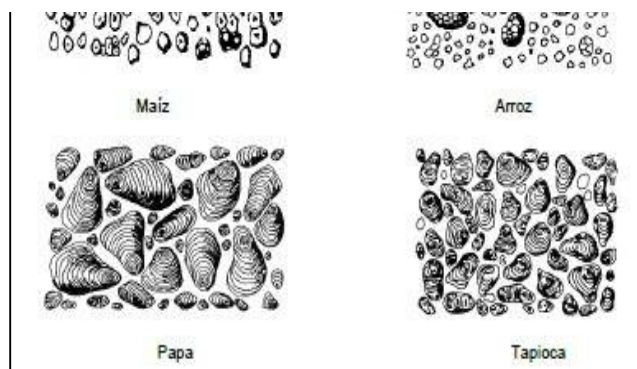


Figura 2: Micrografías de gránulos de almidón de diversas especies

Fuente: Badui



(2001).

Durante la
gránulo, el
deposita en
concéntricas
superpuestas

formación del
almidón se
capas
sucesivas y
alrededor de un

núcleo central “hilium”, formando así un granulo compacto. El tamaño, forma y composición de los gránulos dependen de la fuente botánica, de la bioquímica de los cloroplastos o amiloplastos, y de la fisiología de la planta, lo que resulta de gran utilidad para su identificación al microscopio (Figura 2) (Smith, 2001; Singh et al., 2003; Jayakody y Hoover, 2008).

En el amiloplasto se pueden sintetizar pequeños gránulos de almidón, como en el caso del arroz; o solo se sintetiza un granulo de almidón por amiloplasto, como ocurre en la papa, el maíz y el trigo (Vandeputte y Diluir, 2004).

Los gránulos de almidón pueden ser de forma redonda, ovala o poligonal, lenticular e irregular (Biliaderis, 1991; Hoover, 2001; Tester *et. al.*, 2004). El tamaño de los gránulos de almidón varía de 1 a 100 μm , Siendo mayores los gránulos de almidón de papa (<110 μm), seguido por los gránulos de almidón

de trigo ($<30\ \mu\text{m}$) y por los gránulos de almidón de maíz ($<25\ \mu\text{m}$) (Singh *et al.*, 2003). De acuerdo a su tamaño, los gránulos de almidón se clasifican como gránulos grandes ($>25\ \mu\text{m}$), gránulos medianos ($\geq 10 \leq 25\ \mu\text{m}$), gránulos pequeños ($\geq 5 \leq 10\ \mu\text{m}$) y gránulos muy pequeños ($<5\ \mu\text{m}$) (Lindeboom *et al.*, 2004).

El diámetro o tamaño de partículas es una de las características que más afectan a las propiedades funcionales de los gránulos de almidón. Se ha reportado que los gránulos de almidón pequeños presentan mayor solubilidad y alta capacidad de absorción de agua (Singhal y kulkarni, 1988).

Lamadrid-Avendaño *et al.*, (2009) reportaron que a menor tamaño del gránulo de almidón la velocidad de hidrólisis aumenta pues se presenta una mayor área superficial para el ataque enzimático, por lo que estos almidones podrían utilizarse como posibles sustratos para la producción de diferentes compuestos de interés industrial, entre ellos, las dextrinas, ciclodextrinas, fructosas, entre otros. Además un tamaño pequeño de gránulo influye de manera positiva en la digestibilidad y biodisponibilidad que asciende hasta un 96% del mismo, siendo apropiado para la formulación de alimentos para niños y personas en convalecencia (Barreto *et al.*, 2012) y reporta valores para los gránulos de almidón de ***Colocasia esculenta*** de tamaño entre 1 a 6,6 micrones y están compuestos principalmente por amilosa, son muy pequeños comparados con los hallados en la papa y el maíz).

Su funcionalidad depende del peso promedio molecular de la amilosa y la amilopectina así como de la de la organización molecular de estos glucanos dentro del gránulo. Los almidones nativos se utilizan por que regulan y estabilizan la textura y por sus propiedades espesantes gelificantes (Cousidine, 1982).

1.2.2. Estructura y composición de los almidones

1.2.2.1. Componentes de los almidones

El almidón está constituido por unidades de glucosa dispuestas en dos componentes: amilosa y amilopectina; su proporción varía de un tipo a otro según sea su fuente. Estas macromoléculas se caracterizan por su grado de polimerización o ramificación lo cual afecta su comportamiento frente a los procesos de degradación. El contenido de amilosa y el grado de polimerización - número total de residuos anhidroglucosa presentes dividido por el número de terminales reducidos- son importantes en la determinación de las propiedades físicas, químicas y funcionales del almidón. Por ejemplo, el tamaño de los gránulos del almidón muestra relación con la proporción amilosa/amilopectina (Delpeuch y Favier, 1980).

1.2.2.1.1. Amilosa

Es un polímero lineal que consta de moléculas de glucosa unidas por enlaces glucosídicos α -D-(1-4), los cuales constituyen un 99% de la molécula, mientras que los enlaces α (1-6) se encuentran en 1% el número de unidades varía entre los diferentes tipos de almidones pero generalmente se encuentra entre 1 000 unidades de glucosa por molécula de amilosa y tiene forma de espiral. Es soluble en agua a temperaturas de 70 a 80 °C. También se ha encontrado reportes en donde la amilosa presenta un grado de polimerización (GP) que va de 324 a 4920, con puntos de ramificación que van desde 9 a 20 unidades de glucosa; y con un peso molecular que va desde 1×10^5 a 1×10^6 g/mol. (Buleon et al., 1998; Yoshimoto *et al.*, 2000; Tester *et al.*, 2004). En un extremo de la macromolécula la unidad de glucosa contiene el hidroxilo del carbono anomérico (a) libre, por lo cual se llama extremo reductor (Aspinal, 1983). En el extremo opuesto, o no reductor, el hidroxilo del carbono anomérico forma parte del enlace glucosídico (Figura 3).

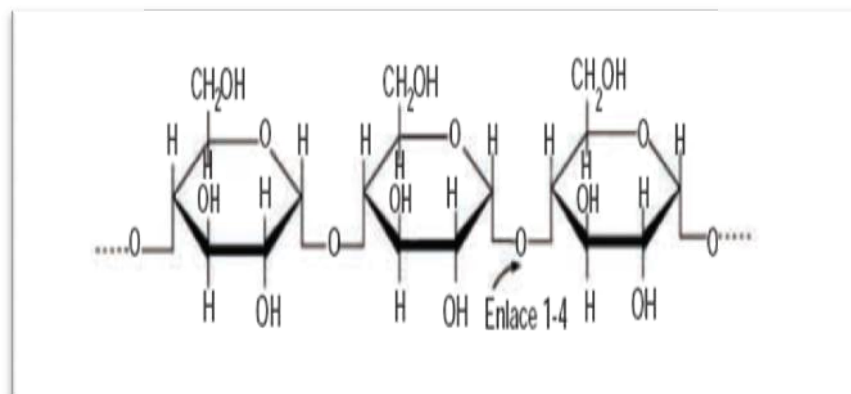


Figura 3: Esquema de la amilosa

Fuente: Aristizábal *et al.*, (2007)

A temperatura ambiente y en solución, la molécula de amilosa adquiere una configuración helicoidal, en la cual los residuos de glucosa constituyen una vuelta en torno al eje de simetría de la molécula. Esta configuración helicoidal es la responsable de la formación de complejos de amilosa yodo de un característico color azul intenso (Stick, 2000; Singh *et al.*, 2003).

(Kuakpetoon y Wang, 2007), reportaron que a mayor contenido de amilosa la región amorfa del almidón disminuye. En diferentes estudios se ha demostrado que la región amorfa del almidón es la más susceptible tanto a la degradación enzimática como a la ácida, mientras que la región cristalina muestra mayor resistencia (Lamadrid-Avendaño *et al.*, 2009).

1.2.2.1.2. Amilopectina

Es un polímero ramificado formado por cadenas lineales constituidas por 15-35 moléculas de glucosa unidas por enlaces α -D-(1 \rightarrow 4). Estas cadenas están unidas entre ellas por enlaces α -D-(1 \rightarrow 6) que forman los puntos de ramificación (Figura 4). La amilopectina tiene 5-6 por ciento de enlaces α -D-(1 \rightarrow 6) y está constituida de alrededor de 100 000 moléculas de glucosa (Duprat *et al.*, 1980).

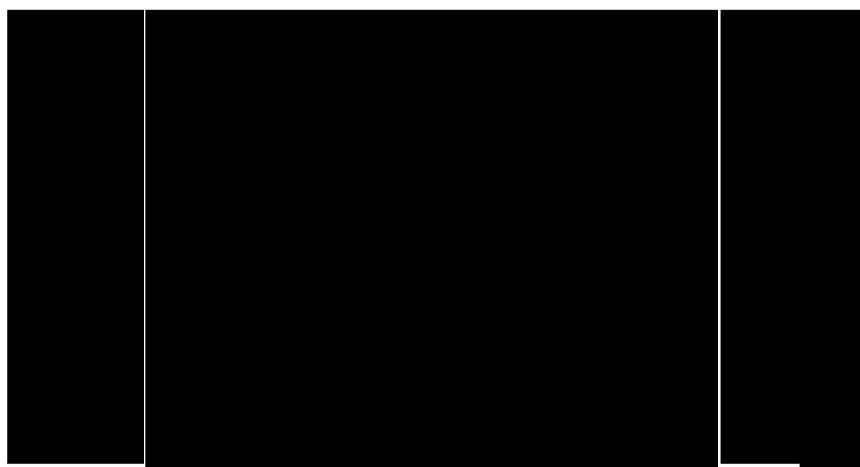


Figura 4: Esquema de la amilopectina

Fuente: Aristizábal *et al.*, (2007)

En la literatura se ha encontrado que el peso molecular que representa la amilopectina se encuentra en un intervalo de 7.0×10^7 a 5.7×10^9 g/mol (Hizukuri, 1986); en donde las ramificaciones se localizan aproximadamente cada 15- 25 unidades de glucosa. Por otro lado también se ha reportado que las cadenas que conforman la amilopectina son de tres tipos y pueden ser distinguidas por su tamaño: a) cadenas cortas A con grado de polimerización (GP) de 14-18 unidades de glucosa, b) cadenas interiores largas B (GP =45-55), y c) cadena con un GP mayor de 60, que posee el extremo reductor (Manners, 1989). El tipo A es característico en almidones de cereales, el B se presenta en almidones de tubérculos y de alta amilosa y el C (mezcla de A Y B), se presenta en almidones de tubérculos (Jayakody y Hoover, 2008).

Moléculas adyacentes de amilosa y amilopectina interactúan a través de puentes de hidrogeno, formando paquetes cristalinos orientados radialmente llamados micelas. Estas micelas mantienen unido al gránulo, permitiendo su hinchamiento en agua caliente y la solubilización de moléculas individuales de almidón, sin rompimiento del gránulo (Hsu y Huang, 2000; Tester y karkalas, 2001). A nivel molecular la lamela cristalina es atribuida al empaquetamiento de las dobles hélices de las cadenas arregladas en pequeños cristales (Thys *et al.*, 2008).

Las cadenas lineales de los dos polímeros pueden formar hélices con seis moléculas de glucosa por cada ciclo. En el caso de la amilopectina, los enlaces α -D-(1 \rightarrow 6) son puntos de ruptura para la formación de las hélices y únicamente pueden formarse hélices cortas con las partes lineales de la molécula. En cambio hélices constituidas de 120 moléculas de glucosa pueden formarse con la amilosa. La estructura y la cantidad relativa de ambos componentes del almidón juegan un papel importante en la determinación de las propiedades fisicoquímicas del almidón (Tabla 3).

Tabla 3: Propiedades de los componentes del almidón

ESTRUCTURA	LINEAL	RAMIFICADA
Longitud promedio de la cadena	Aprox.100	20 a 25
Peso molecular	40000 hasta 106	200000 hasta 106
Grado de polimerización	Aprox. 100	10000 a 100000
En solución	Hélice extendida o enrollada	Esfera irregular
Estabilidad en soluciones acuosas	Retrógrada	Estable
Acomplejamiento	Con facilidad	Con dificultad
Retrogradación	Rápida	Muy lenta
Gel	Firme e irreversible	Suave e irregular
Formación de complejos	Favorable	Desfavorable
Patrón de rayos x	Cristalino	Amorfo
Digestibilidad de la β -amilasa	Casi completa	Cerca de 60 %
Reacción con yodo	19 a 20%	5-9%
Color de la solución de yodo	Azul profundo	Violeta
Longitud de onda máxima (nm)	Aprox.660	530-550

Fuente: Aspinal (1983)

La organización intermolecular entre amilosa y amilopectina con enlaces hidrógeno entre los grupos alcoholícos, directamente o a través de moléculas de agua, conduce a la formación de zonas cristalinas (capas densas con un alto número de ramificaciones) y amorfas [(capas menos organizadas ricas en

puntos de enlaces α -D-(1 \rightarrow 6)]. Esto da al almidón una estructura semicristalina, con propiedades específicas como la presencia de un cruce en el gránulo ante una observación con luz polarizada y la difracción de los rayos X con tres tipos de espectro que permiten diferenciar los almidones de cereales, raíces y tubérculos. Sin embargo, en esta clasificación hay algunas excepciones como la yuca que presenta un espectro similar al de los cereales.

1.2.3. Propiedades fisicoquímicas del almidón

Entre las propiedades fisicoquímicas más importantes encontramos la composición proximal (contenido de proteína cruda, extracto etéreo, fibra cruda, cenizas y humedad), las características del gránulo (tamaño, color y forma, naturaleza cristalina), el peso molecular y el contenido de amilosa. La composición química de los almidones comerciales depende de la fuente botánica, del proceso de obtención y purificación, así como de las condiciones de almacenamiento (Beynum y Roels, 1985), además, todos los almidones contienen pequeñas cantidades de proteínas, lípidos, fósforo y trazas de materiales inorgánicos (Moorthy, 2002).

El contenido de fósforo en la mayoría de los almidones es mínimo, con excepción del almidón de papa, que hasta ahora es el único almidón comercial que contiene una cantidad apreciable de fósforo ($>0.10\%$) en forma de monoéster de fosfatos; en tanto que el almidón de maíz ceroso contiene sólo un $0,007\%$ de este elemento. Generalmente el fósforo en el almidón se encuentra en tres formas: como fosfolípidos, como fosfatos inorgánicos y como monoéster de fosfato unido covalentemente con algunas fracciones de amilopectina. El monoéster de fosfato se encuentra en un 61% unido al C-6, el 38% enlazado al C-3, y 1% en unión con el C-2 de las moléculas de glucosa, respectivamente (Singh *et al.*, 2003). La cantidad de grupos fosfatos presentes en el almidón de papa oscila entre el grupo fosfato por cada 200 a 400 unidades de glucosa, confiriéndole al gránulo una carga superficial negativa que imparte propiedades de polielectrolito al almidón de papa cuando se dispersa en soluciones acuosas (Whistler, 1984; Beynum y Roels, 1985).

El fósforo presente en el almidón, proporciona un efecto significativo en el alimento que lo contiene. Ocasiona una mayor estabilidad al descongelamiento, así como un incremento en la claridad de las pastas (Craig *et. al.*, 1989; Tester *et. al.*, 2004). Adicionalmente, provoca un rápido hinchamiento en los gránulos de almidón a temperaturas relativamente bajas, lo que indica un débil enlazamiento interno como consecuencia de los grupos fosfatos que se encuentran esterificados y ionizados que contribuyen al hinchamiento del gránulo debido a una repulsión eléctrica mutua al forzar la expansión de la molécula. El fósforo contenido en gránulos en alimentos de raíces y tubérculos como la papa ocasionan un elevado incremento en la viscosidad durante el calentamiento o cocinado de sus dispersiones en comparación con almidones provenientes de cereales (Moorthy, 2002).

Los lípidos presentes en los gránulos de almidón se encuentran formando complejos de inclusión con las moléculas de amilosa; dichos complejos son insolubles en agua fría pero se disocian al calentarse a temperaturas superiores a los 125 °C. Entre los principales ácidos grasos que conforman los lípidos contenidos en los almidones se encuentran el ácido palmítico, el ácido oleico, el ácido linoleico y los fosfolípidos. El contenido de lípidos en los almidones de tubérculos como la papa, el camote y la tapioca es muy pequeño (<0.1%) comparado con los almidones provenientes de cereales (maíz, trigo, arroz, cebada y sorgo), los cuales contienen de 0.6 a 1.0% de lípidos (Tester *et. al.*, 2004; Debet y Gidley, 2006).

Los lípidos tienen un marcado efecto en la calidad y en las propiedades físicas y funcionales de los almidones, estos disminuyen la capacidad de retención de agua; son causantes de la formación de sabores indeseables durante el almacenamiento debido a su rancidez, da lugar a pastas, películas turbias y opacas debido a la formación de complejos de amilosa-lípidos insolubles, lo que afecta la viscosidad de los geles preparados con estos almidones (Beynum y Roels, 1985; Crowe *et. al.*, 2000; Hsu y Huang, 2000).

Las proteínas confieren al almidón un aroma y sabor a harina, además de cierta capacidad espumante. Cerca del 10% de las proteínas asociadas al almidón, se encuentran en la superficie del gránulo y pueden ser fácilmente extraídas con agua o soluciones salinas. Estas proteínas pueden afectar la carga superficial del gránulo, lo cual influye directamente la velocidad de hidratación, La velocidad de hinchamiento y la gelatinización del mismo (Beynum y Roels, 1985).

Entre las proteínas asociadas a la superficie esta la enzima α -amilasa, cuya acción hidrolítica afecta las propiedades reológicas en dispersión, de allí la importancia de eliminarlas durante el proceso de obtención de este polímero (Moorthy, 2002).

El valor reductor alcalino es útil para indicar la degradación de los gránulos a un nivel molecular; los almidones con un alto valor tendrán propiedades pobres de cocción, formando una pasta débil e inestable. La forma más común de un aumento del número reductor es a causa de un ataque microbiano; sin embargo, los cambios químicos también pueden incrementar ese valor (Aristizábal y Sánchez 2007).

Tabla 4: muestra la comparación de algunas propiedades fisicoquímicas de varios almidones.

ALMIDÓN	TIPO	MORFOLOGÍA	DIÁMETRO (μ M)	CONTENIDO DE AMILOSA (%)	TEMPERATURA DE GELATINIZACIÓN (°C)	TEMPERATURA DE GELIFICACIÓN (°C)	PROPIEDADES DE COCCIÓN)
Maíz	Cereal	Redondo poligonal	5-30	25	62-72	80	Gel opaco
Maíz ceroso	Cereal	Redondo poligonal	5-30	<1	63-72	74	Claro cohesivo
Yuca	Raíz	Ovalado truncado	4-35	17	62-73	63	Claro cohesivo tendencia gelificar
Papa	Tubérculo	Ovalado esférico	5-100	20	58-64	64	Claro cohesivo tendencia gelificar
Trigo	Cereal	Redondo lenticular	1-45	25	59-64	77	Gel opaco
Arroz	Cereal	Esférico poligonal	3-8	19	68-78	81	Gel opaco
Sagú	Tronco	Ovalado truncado	15-65	26	69-74	74	Gel opaco

Fuente: Taggart (2004).

En algunos almidones, el tamaño de los gránulos de almidón muestra relación con su proporción amilosa/amilopectina (Delpeuch y Favier, 1980). La cristalinidad del gránulo se debe esencialmente a la amilopectina (Rickard *et. al.*, 1991).

1.2.4. Propiedades funcionales de los almidones

Las propiedades funcionales de los almidones dependen directamente de la relación amilosa/amilopectina. En los distintos cultivos amiláceos esta relación es constante, si bien cambia de una variedad a otra dentro de la especie y también entre plantas de la misma variedad. Almidones nativos presentan propiedades funcionales que pueden ser deseables en ciertas aplicaciones (Duxbury, 1989); la gelatinización, retrogradación, birrefringencia, difracción de rayos X, solubilidad, claridad, viscosidad, capacidad de retención de agua e hinchamiento, son fenómenos que pueden ayudar a explicar la estabilidad del biopolímero y por tanto sugerir su aplicación adecuada (Biliaderis, 1991; Wang y White, 1994; Torre *et. al.*, 2008).

Cuando el almidón se somete a tratamientos hidrotermicos sufre cambios fisicoquímicos y estructurales, que provocan cambios en la organización de las moléculas de amilosa y amilopectina: debido a que son calentados a temperaturas cercanas a la gelificación, en la cual los enlaces de puentes de hidrogeno que hay entre la región cristalina de los gránulos son destruidos, posteriormente se lleva a cabo la introducción de agua e hidratación de los segmentos de las moléculas de amilopectina, esto es el resultado del hinchamiento y solubilidad de sus componentes (Whistler y Bemiller, 1997). La desorganización estructural de los almidones se explica mediante los estudios de gelatinización y retrogradación.

1.2.4.1. Gelatinización.

La gelatinización del almidón es un proceso que se da en presencia de agua en el cual, se pasa de un estado ordenado (estructura cristalina) a un estado

desordenado en el que se absorbe calor; es decir, la gelatinización transforma a los gránulos insolubles del almidón, en una solución de sus moléculas constituyentes (amilosa y amilopectina) en forma individual.

Entre los factores que determinan el proceso de gelatinización e hinchamiento de los gránulos destacan la relación y el contenido de amilosa y amilopectina, su grado de polimerización, así como el tamaño del gránulo de almidón y el contenido de fósforo (Biliaderis, 1991; Tester, 1997; Singh *et al.*, 2003).

La relación en el contenido de amilosa y amilopectina es de suma importancia para la obtención de geles con buenas propiedades mecánicas, de solubilidad y de baja degradabilidad (Biliaderis, 1991). Son preferible los almidones ricos en amilosa debido a que sus geles presentan buenas propiedades mecánicas, son menos solubles y presentan una mayor resistencia a degradar química o enzimática. Sin embargo estos almidones tienen la desventaja de formar sistemas opacos y presentan tendencia a retrogradar, debido a su alto contenido de amilosa (Beynum y Roels, 1985; Biliaderis, 1991).

1.2.4.2. Gelificación y retrogradación

Durante la etapa de enfriamiento se distinguen dos etapas, la gelificación y la retrogradación. En la gelificación las moléculas de almidón se vuelven menos solubles y tienden a agregarse. La retrogradación es un fenómeno se define como la insolubilización y la precipitación espontánea, principalmente de las moléculas de amilosa, debido a que sus cadenas lineales se orientan de forma paralela y reaccionan entre sí por puentes de hidrógeno a través de sus múltiples hidroxilos; esto se puede efectuar por diversas rutas, según la concentración y de la temperatura del sistema. Si una solución concentrada de amilosa se calienta y se enfría rápidamente hasta alcanzar la temperatura ambiente, se forma un gel rígido y reversible, pero si las soluciones son diluidas, se vuelven opacas y precipitan cuando se dejan reposar y enfriar lentamente (Badui, 2006).

El proceso de retrogradación ocurre en tres estados: a) dilatación de las cadenas debido al rompimiento de los enlaces intermoleculares que mantienen la configuración helicoidal, b) pérdida del límite de agua seguido de una reorientación de las moléculas y, finalmente una formación de enlaces de hidrogeno entre moléculas adyacentes formando una estructura cristalina (Mestres, 1996). Esta cristalización va a endurecer el gel y acarrear el fenómeno de sinéresis, es decir, la expulsión de una parte del disolvente fuera del gel que produce una caída de la viscosidad. La retrogradación es un proceso complejo y depende muchos factores como el tipo y concentración de almidón, regímenes de cocimiento y enfriamiento, pH y la presencia de solutos como lípidos, sales, azúcares. (Biliaderis, 1991; Biliaderis *et al.*, 1980; Cowieson, 2005; Gudmundsson, 1994; Liu y Thompson 1998). Es favorecido por bajos pH, aunque a valores de $\text{pH} < 3$ la cantidad de material precipitado disminuye debido a la hidrólisis del almidón.

La retrogradación se manifiesta por la formación de precipitados o geles que afectan la textura, aceptabilidad y digestibilidad de los alimentos que contienen almidón. A pesar de que la amilosa y la amilopectina están sujetas a la retrogradación, al parecer la amilopectina es la molécula que más influye en los cambios que se suscitan en los alimentos que contienen almidón cuando se almacenan (Biliaderis y Prokopowich, 1994).

Numerosos estudios muestran que la estructura de la amilopectina afectan las propiedades de retrogradación de las pastas o geles del almidón Waxy (Chung *et al.*, 2008).

1.2.4.3. Birrefringencia.

La birrefringencia tiene la capacidad que tienen los gránulos de almidón para refractar la luz en dos direcciones, es decir, tienen dos índices de refracción, por lo que cuando se irradian con luz polarizada desarrollan la típica “cruz de malta” presentando en su centro un hilo, el cual indica un alto grado de

orden molecular dentro del granulo, sin hacer referencia a ninguna forma cristalina (Whistler y Daniel, 1990).

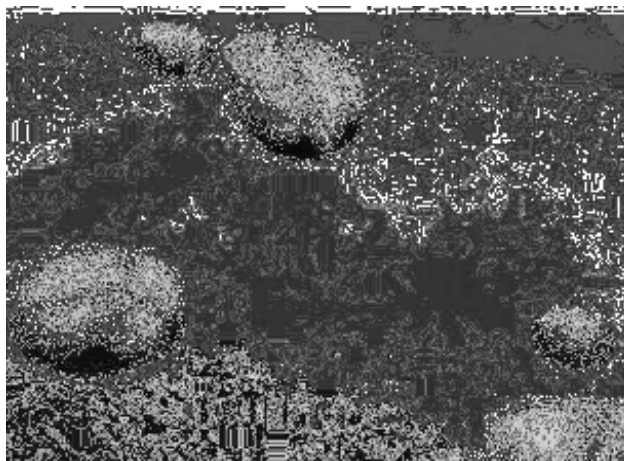


Figura 5: Cruz de malta en gránulos de almidón de papa

Fuente: Jiménez, (2006)

1.3. Almidón de Yuca (*Manihot esculentum*)

El almidón de yuca es la segunda fuente de almidón en el mundo después del maíz, pero por delante de la papa y el trigo; se usa principalmente sin modificar, es decir como almidón nativo, pero también es usado modificado con diferentes tratamientos para mejorar sus propiedades de consistencia, viscosidad, estabilidad a cambios del pH y temperatura, gelificación, dispersión y de esta manera poder usarlo en diferentes aplicaciones industriales que requieren ciertas propiedades particulares. El alto contenido de almidón de la yuca y su mayor proporción de amilosa, en comparación con otras fuentes, hace de este un importante cultivo industrial además de ser un cultivo alimenticio rico en calorías (Aristizábal y Sánchez, 2007).

El nivel de amilosa encontrado en el almidón varía dependiendo del origen. Muchos almidones tales como del maíz común, trigo, papa y yuca contienen alrededor de 18 - 28 por ciento de amilosa; el maíz y el trigo están en el extremo alto del rango, mientras la papa y la yuca están en el extremo más bajo. El almidón de yuca según unos autores contiene entre 17 - 22 % de amilosa; Datos reportados por Fernández *et. al.*, (1996) están entre 17 y

25% de amilosa; Moorthy (2004) reportó valores entre 20 y 27% de amilosa, además, indica que de este total de amilosa, aproximadamente el 40% corresponde a amilosa soluble, Charles *et al.*, (2005) reportaron que el contenido de amilosa en almidones de diferentes variedades de yuca fue de 15,9 a 22,4%. Mientras que Aryee *et al.*, (2006) trabajando con 31 variedades de mandioca encontraron que el mismo varió entre 10,9 y 44,3%. Así mismo otros investigadores como: Defloor *et al.*, (1998) entre 17,9 a 23,6%, Rickard *et al.*, (1991) de 13,6 a 23,8% y Moorthy *et al.*, (2006) valores de $19 \pm 3,5\%$ en amilosa. Pérez *et al.*, (2005), encontró un contenido de amilosa de $16,89 \pm 0,09 \%$, en almidón de yuca nativo determinada por colorimetría. La estructura y la cantidad relativa de ambos componentes del almidón juegan un papel importante en la determinación de las propiedades fisicoquímicas del almidón.

1.3.1. Propiedades Fisicoquímicas del Almidón yuca (*Manihot esculentum*)

Las propiedades fisicoquímicas son las que determinan el uso del almidón de yuca. Entre las propiedades fisicoquímicas más importantes encontramos la composición proximal (contenido de proteína cruda, extracto etéreo, fibra cruda, cenizas y humedad), las características del gránulo (tamaño, color y forma, naturaleza cristalina), el peso molecular y el contenido de amilosa.

El contenido de proteínas del almidón de yuca y de papa es bajo, cerca del 0,1%, comparado con el de los almidones de arroz y de maíz (0,45 y 0,35%, respectivamente). La proteína residual afecta el sabor y olor de los almidones de cereales y tienden a formar espuma (Ceballos y De la Cruz, 2002).

Los gránulos del almidón de papa y yuca contienen un pequeño porcentaje de lípidos, comparado con los almidones de cereales - maíz y arroz- los cuales contienen respectivamente 0,6 y 0,8%. Esta composición favorece al almidón de yuca, ya que estos lípidos forman un complejo con la amilosa, la cual tiende a reprimir el hinchamiento y la solubilización de los gránulos del

almidón; por esta razón se necesitan temperaturas altas ($> 125\text{ }^{\circ}\text{C}$) para romper la estructura amilosa-lípido y solubilizar la fracción de amilosa (Ceballos y De la Cruz, 2002). La mayor parte de estos lípidos son liso fosfolípidos; es decir una cadena de ácido graso esterificada con ácido fosfórico. La presencia de sustancias grasas puede crear problemas por la tendencia a la rancidez durante el almacenamiento (Hurtado, 1997).

Los gránulos del almidón de yuca no son uniformes en tamaño y forma: son redondos con terminales truncados, un núcleo bien definido y su tamaño varía (Ceballos y De la Cruz, 2002; Sívoli *et. al.*, 2012). Investigadores han encontrado diferentes tamaños, para almidón de yuca, (Moorthy, 2002) encontró valores en un rango de 3 a $43\text{ }\mu\text{m}$. Así mismo (Sívoli *et. al.*, 2012) muestran resultados morfométricos de una población granular bimodal; con una parte de la población formada de gránulos con tamaños de $0,5$ a $7,5\text{ }\mu\text{m}$, y otra con gránulos más grandes de $7,6\text{ }\mu\text{m}$ hasta $35,6\text{ }\mu\text{m}$, respectivamente, características en este tipo de almidón.

Los patrones de difracción a los rayos X de los gránulos de almidón nativo de yuca son de tipo intermedio (tipo C), entre los patrones característicos de los almidones de los cereales (tipo A) y los almidones de frutas y tubérculos (tipo B). El nivel de cristalización en el almidón de yuca es de alrededor de 38 por ciento. La cristalinidad del gránulo se debe esencialmente a la amilopectina (Richard *et. al.*, 1991).

1.3.2. Propiedades funcionales del almidón de yuca (*Manihot esculentum*)

Las propiedades funcionales de los almidones dependen directamente de la relación amilosa/amilopectina. En los distintos cultivos amiláceos esta relación es constante, si bien cambia de una variedad a otra dentro de la especie y también entre plantas de la misma variedad. Para apreciar el potencial del uso industrial y alimenticio del almidón de yuca es fundamental comprender las propiedades funcionales del almidón. Estas propiedades

están influenciadas por factores genéticos (diferencias varietales) y por factores como la edad de la planta, la época de cosecha, la fertilidad del suelo y la precipitación, entre otras (Aristizábal y Sánchez, 2007).

Las características funcionales de los almidones son: solubilidad, capacidad de retención de agua, poder de hinchamiento, tendencia a retrogradar, propiedades de la pasta (viscosidad, consistencia, estabilidad del gel, claridad y resistencia al corte, formación de película), digestibilidad enzimática y capacidad de emulsificación.

El almidón de yuca gelatiniza a la misma temperatura del almidón de maíz y del almidón de maíz ceroso, a temperaturas relativamente bajas (60 - 67 °C); el pico máximo es alcanzado rápidamente, lo que implica que es un almidón fácil de cocinar y requiere menor consumo de energía durante su cocción. Además, tiene una tendencia baja a la retrogradación y produce un gel de mayor claridad y estabilidad en comparación con el de otros almidones nativos (Ceballos y De la Cruz, 2002).

El almidón de yuca tiene una temperatura de gelatinización relativamente baja en comparación con otros almidones, la cual varía de 49 a 64 °C o de 62 a 73 °C (Moorthy, 2004), según la variedad, constitución genética y el ambiente de desarrollo del cultivo. En otra investigación realizada por (Charles *et. al.*, 2005) para cinco variedades de yuca, se ha encontrado de temperatura de gelatinización un rango de 64,4 a 69,9 °C.

Aunque la viscosidad de la pasta es inicialmente alta, esta decae bruscamente con agitación continuada por encima de 90 °C y con un subsecuente enfriamiento no hay formación de gel. Este comportamiento del almidón de yuca lo hace tecnológicamente conveniente como sustrato para procesos hidrolíticos pero inapropiado como sustituto para los almidones de cereales en procesos que requieren retrogradación (Ceballos y De la Cruz, 2002).

Las propiedades de claridad y baja retrogradación del almidón de yuca pueden ser utilizadas en muchos productos alimenticios. Sus características reológicas se asemejan bastante al almidón del maíz ceroso. Las pastas de almidón de yuca son estables a medios ácidos por debajo de pH 2,4, medio en el cual hay destrucción del gránulo y del aspecto físico de la pasta debido a una hidrólisis parcial o total (Ceballos y De la Cruz, 2002). La pasta de almidón de yuca ha sido considerada resistente al proceso de congelación, lo que disminuye generalmente la exudación de agua o sinéresis y deteriora la estructura de la pasta (Hurtado, 1997).

Si un almidón muestra un alto poder de hinchamiento y alta solubilidad esto refleja la baja fuerza de asociación en los gránulos. El poder de hinchamiento de los almidones de cereales es más limitado que el que se observa para los almidones de tubérculos. La capacidad de absorción de agua depende directamente del tipo de almidón, lo que es mayor en almidones de tubérculos que con almidones de cereales, pero también depende de factores como el contenido de amilopectina, el tamaño y la forma de los gránulos. La solubilidad del almidón de yuca es alta, similar al del almidón de papa mientras que en los almidones de cereales se reduce debido a la presencia de lípidos (Aristizábal y Sánchez, 2007).

1.3.3. Requerimientos Fisicoquímicos del Almidón de Yuca

La calidad del almidón es el factor más importante de la raíz de yuca ya que del mismo dependen la calidad culinaria, la calidad después del secado para consumo humano y animal y la calidad para usos industriales. La variabilidad genética y los factores edafoclimáticos y bióticos afectan el contenido de almidón. Las variaciones entre la proporción de amilosa y amilopectina se relacionan con cambios en la calidad culinaria. Durante el proceso de cocción el comportamiento del almidón con respecto a la solubilidad, al volumen y al poder de absorción de agua tienen relación con la calidad de la yuca cocida. Además, existen otras características del almidón como las

reológicas (viscosidad, gelatinización) que presentan relación con la calidad de la yuca. Se han estudiado cambios en la viscosidad del almidón, debido al deterioro poscosecha de la yuca y se ha observado que esta es mayor en las raíces a los dos o tres días después de la cosecha que en las raíces recién cosechadas (Aristizábal, *et. al.*, 2007).

Una característica de las raíces de yuca es que sufren un rápido deterioro luego de ser cosechadas. Este proceso es llamado "deterioro fisiológico de poscosecha". Como resultado, las raíces de yuca deben ser procesadas pocos días después de la cosecha. La ocurrencia del deterioro está directamente asociada a los daños mecánicos que ocurren con la cosecha, pero también depende de la variedad (Clayuca, 2012).

En el proceso de extracción de almidón de yuca, se debe realizar la inspección y control de la calidad de las raíces en cada una de las etapas del proceso para, de este modo, alcanzar los estándares de calidad que exige el mercado. Dado que en el sector industrial no existe una norma única de requisitos de calidad para el almidón de yuca, cada empresa define sus requisitos dependiendo de la aplicación final del almidón. En la Tabla 5 se presentan los requisitos fisicoquímicos estándares que debe tener el almidón de yuca para ser usado en el sector industrial en general. Estos requisitos pueden ser una guía para orientar a los procesadores de almidón de yuca y constatar si el producto obtenido reúne o no la calidad deseada en el mercado (Aristizábal y Sánchez, 2007).

Tabla 5: Requisitos fisicoquímicos del almidón de yuca

ANÁLISIS FISICOQUÍMICO	RANGO ESTÁNDAR
Almidón (%)	92-98
Humedad (%)	10-13
Cenizas (%)	< 0,12
Nitrógeno total (%)	< 0,064
pH	4,5-5,5
Pulpa (mg)	0,5
Temperatura de gelatinización (°C)	58,5-70,0
Viscosidad máxima (UB)	400-900
Color	Blanco
Tamaño (% que debe pasar malla 100)	99

Fuente: FAO (2007)

II.MATERIALES Y MÉTODOS

La materia prima de la cual se extraerán las muestras de estudio corresponde a una variedad de yuca adquirida en el mercado mayorista de Mochoqueque – Chiclayo - Lambayeque.

Para conocer las propiedades de cada producto, se tomarán como base los materiales, equipos, y procedimiento descritos a continuación.

2.1. Población y Muestra

2.1.1. Población

Se trata de la yuca (***Manihot esculentum***) entera como materia prima de 20 toneladas del centro de abastecimiento de Mochoqueque - Chiclayo-Lambayeque.

2.1.2. Muestra

La muestra estuvo constituida por 80 Kg de yuca (***Manihot esculentum***) entera de los cuales se tomaron al azar 15kg y obteniéndose 1,6 Kg de almidón de yuca. De cada muestra se tomaron al azar cantidades suficientes para los diferentes análisis, obteniéndose cada una de las características de la yuca y del almidón lográndose los objetivos planteados.

2.2. Materiales Técnicos e Instrumentales de Recolección de Datos

2.2.1. Equipos de laboratorio

- Agitador magnético
- Baño de agua con temperatura constante. Marca THELMO, modelo 182
- Balanza, Marca EXCELL. Modelo BH – 300 – capacidad Max. 300g – precisión de 0.01g

- Balanza analítica, Marca KERM, Modelo ALJ 220 - 4MN, capacidad máxima 220 g; con una precisión de 0,0001 g
- Centrífuga, capacidad Max hasta 9000 rpm
- Desecador con un agente de secado con silicagel
- Espectrofotómetro Thermo electro corporación, Modelo GENESYS 10 UV
- Estufa Memmert con temperatura máxima de 220°C
- Licuadora, corona
- Molino sinfín, Marca CORONA
- Mufla Marca, THERMO SCIENTIFIC Modelo F48010 – 33, T Max 2237F/1225°C
- PH metro digital Marca SCHOTT INSTRUMENTS, Modelo Lab 850, Rango de pH de 0 – 14
- Cocina eléctrica Marca cimarec, modelo HP 46820
- Termómetro Marca GIARDINO Rango de temperatura -10 – 250°C
- Microscopio óptico, Marca Motic, Serie B1 SYSTEM Microscopes
- Cámara de Neubauer improved 25 mm²

2.2.2. Materiales de Laboratorio

- Algodón
- Balones volumétricos de 100, 250, 500, 1 000, 2 000 ml
- Botellas oscuras
- Botellas resistentes al calor con tapa ventilada
- Crisoles de porcelana
- Embudo
- Erlenmeyer Pyrex de vidrio de 250 ml
- Frascos volumétricos de 100 ml
- Papel filtro Whatman N° 1
- Pinzas de acero inoxidable
- Pipetas volumétricas de 5, 10,15, 20, 25 ml
- Pipeteador de 30 ml
- Probetas de 100 y de 300 ml

- Probeta graduada de vidrio de 200, 250 ml
- Tubos de centrifuga plásticos de 15 ml
- Vasos de precipitación de 10, 25, 50, 100, 250, 1 000 ml
- Vaso de precipitado de vidrio de 500 ml

2.2.3. Reactivos y Soluciones

- Acetato de sodio
- Ácido acético
- Ácido acético 1N
- Ácido clorhídrico 0,4 %(v/v)
- Ácido clorhídrico. 6 M
- Ácido perclórico 70 %
- Ácido sulfúrico
- Agua destilada
- Alcohol etílico al 96% de pureza
- Azul de Metileno
- Sulfito de Sodio
- Cloruro de potasio
- Etanol al 95 %(v/v)
- Fenolftaleína al 1%
- Hidróxido de sodio 0,09; 0,1 y 1 N
- Hidróxido de sodio 40 % (p/v)
- Indicador de almidón
- Reactivo de ferrocianuro alcalino
- Sulfato de sodio heptahidratado
- Solución de Yodo 1%
- Solución de yoduro de potasio al 20%
- Solución sulfato de zinc-ácido acético
- Soluciones tampón de pH 4.0 y 7,0
- Tiosulfato de sodio 5H₂O
- Tiosulfato de sodio 0.05 M
- Yoduro de potasio tiosulfato

2.3. Método de análisis

Los métodos de análisis que se emplearon durante el desarrollo de dicho trabajo de investigación se presentan a continuación:

2.3.1. Caracterización de la Materia Prima

2.3.1.1. Determinaciones físicas

- Propiedades biométricas
- Rendimiento de la porción comestibles

2.3.1.2. Determinaciones Fisicoquímicas de la yuca (*Manihot esculentum*)

Se determinó:

- Humedad, método 950.46 A.O.A.C. (2005)
- Proteína, método 984.13 A.O.A.C. (2005)
- Grasa, método 2003.05 A.O.A.C. (2005)
- Fibra, método 962.09 A.O.A.C. (2005)
- Ceniza, método 942.05 A.O.A.C. (2005)
- Los carbohidratos se determinarán por diferencia, respecto a los otros componentes
- Acidez método A.O.A.C (2000)

2.3.2. Caracterización del almidón

2.3.2.1. Determinaciones del análisis proximal del almidón

Se determinó:

- Humedad, método 950.46 A.O.A.C. (2005)
- Proteína, método 984.13 A.O.A.C. (2002)
- Grasa, método 2003.05 A.O.A.C. (2005)
- Fibra, método 962.09 A.O.A.C. (2005)
- Ceniza, método 942.05 A.O.A.C. (2005)

- Azúcares reductores totales, método de “Dinitrofenol de Ross”
- Sólidos totales, método 932.14 A.O.A.C. (1997). Se determinaron por diferencia respecto al porcentaje de humedad
- Los carbohidratos se determinaron por diferencia, respecto a los otros componentes
- Acidez titulable y pH (Instituto Internacional del Almidón (ISI), 1999)
- Valor reductor alcalino (Schoch, 1964)

2.3.2.2. Determinación de amilosa y amilopectina

- Contenido de amilosa aparente y total, (Morrison y Laignelet; 1983)

2.3.2.3. Caracterización de morfología de los gránulos del almidón

- Morfología del granulo (Microscopía óptica)
- Birrefringencia de granulo (Microscopía óptica)
- Tamaño de granulo (Microscopia óptica)

2.3.2.4. Caracterización de las propiedades funcionales del almidón

- Temperatura de gelatinización (Grace, 1977)
- Índice de absorción de agua, índice de solubilidad en agua y poder de hinchamiento (Anderson *et. al.*, 1969)
- Claridad de la pasta (Craig *et. al.*, 1989)
- Retrogradación (Lovedeep *et. al.*, 2002; Ishiguro *et. al.*, 2003)

2.4. Metodología experimental

2.4.1. Caracterización de la Materia Prima

2.4.1.1. Acondicionamiento de la materia prima

Las yucas fueron lavadas, escurridas, peladas con un cuchillo de acero inoxidable y luego cortadas en rodajas. Posteriormente las rodajas fueron esparcidas en bandejas metálicas, luego se llevaron a secar en una

secadora a temperatura de 60 °C durante 48 horas. Posteriormente se molió en un molino si fin casero para su posterior uso en los análisis.

2.4.1.2. Caracterización física de yuca (*Manihot esculentum*)

2.4.1.2.1. Propiedades biométricas

La yuca (*Manihot esculentum*) se evaluó de la siguiente manera:

- La longitud se determinó con una regla
- El ancho se midió con un vernier
- El peso se determinó con una balanza de precisión 0,1.

2.4.1.2.2. Rendimiento de la porción comestible

Cabe destacar que para los efectos de estudio, se consideró como porción comestible a la fracción que resulta después de lavar y eliminar la cascara de la raíz con cuchillas de acero inoxidable. El rendimiento de la porción comestible fue estimado como el cociente del peso de las raíces ya descascaradas, dividido entre el peso de las raíces íntegras y multiplicadas por cien. Para ello, el peso de las raíces ya peladas y sin pelar, se registró mediante una balanza de precisión (Brainweigh – B5000, USA).

$$\text{Rendimiento de la porción comestible} = \frac{\text{Porción comestible (g)}}{\text{Tubérculo entero (g)}} \times 100$$

2.4.1.2.3. Análisis fisicoquímico de la yuca

La caracterización de la yuca y el almidón de yuca variedad guayape realizaron de acuerdo a los análisis indicados en el Marco metodológico

2.4.1.2.4. Obtención del almidón de yuca (*Manihot esculentum*)

El proceso que se describe a continuación, explicando paso a paso cada una de las operaciones que describe el diagrama de flujo de la figura 6.

➤ Recepción de la materia prima

La yuca adquirida se pesó, posteriormente se separaron las que presentaron indicios de alteración para evitar inconvenientes en las siguientes etapas.

➤ **Lavado**

El lavado consistió en quitarle la tierra y las impurezas a la yuca.

➤ **Pelado y desinfección**

El pelado se realizó de forma manual con cuchillos de acero inoxidable, eliminar partes en mal estado, colores no deseables, etc. Posteriormente se lavó la yuca con agua y una concentración de cloro de 50 ppm.

➤ **Rallado**

El rayado de la yuca se realizó a mano con rayadores de acero inoxidable.

El rayado es la operación donde se liberan los gránulos de almidón contenidos en las células de la yuca cuando se le disminuye el tamaño de partícula. La eficiencia de esta etapa determina, en gran parte, en el rendimiento total del almidón en el proceso de extracción. Si el rallado no es eficiente no se logran separar totalmente los gránulos del almidón de las fibras; el rendimiento es bajo y se pierde mucho almidón en el afrecho.

Por otra parte, si el rallado es demasiado fino, los gránulos muy pequeños de almidón sufren daño físico y más tarde deterioro enzimático, la sedimentación sería más lenta ya que el granulo fino pierde densidad y además se formaría mayor cantidad de mancha (CIAT, 1995).

➤ **Lavado de yuca rallada**

El lavado de la yuca rallada consiste en homogenizar con agua en una relación agua – yuca rayada 3:1, de manera que se desprenda la mayor cantidad de almidón.

➤ **Filtrado**

Esta operación consistió en filtrar en una tela, con dos personas, la yuca rallada y homogenizada con agua, de esta manera el almidón pasa con el agua; la fibra, trozos de yuca etc, quedan en la tela. Aquí se trata de hacer pasar la mayor cantidad de almidón, haciendo presión sobre la tela hasta un aproximado de 43 a 45% de humedad.

➤ **Sedimentación**

En la sedimentación se trata de que el almidón que es más denso que el agua llegue al fondo del recipiente o sedimentador.

El agua que salió del filtrado del afrecho, se dejó sedimentar en un pozo por un periodo de tiempo de 14 horas luego el sobrenadante se eliminó. Antes de pasar el almidón al secado se lava con un aproximado de 5 L de agua para eliminar la mancha, y así obtener un almidón de color blanco.

➤ **Secado**

En esta operación el almidón se secó en un horno eléctrico a 40°C en un tiempo de 24 horas, previamente puesto en bandejas de acero inoxidable bien extendido, hasta obtener una humedad de 8 al 10%.

➤ **Molido**

El almidón seco se molió en un molino sinfín casero.

➤ **Tamizado**

Para esta operación se empleó un tamiz N° 100 para tener un producto homogéneo.

➤ **Envasado**

El almidón se envasó en bolsas de polietileno de alta densidad, luego se selló y se almacenó en un lugar seco y libre de olores desagradables.



Figura 6: Diagrama de bloque para la obtención de almidón de yuca (*Manihot esculentum*) de variedad guayape

Fuente: Elaborado por los autores (2016) basados en los procesos de la FAO (2007)

2.4.2. Caracterización del almidón

2.4.2.1. Caracterización fisicoquímica

Las determinaciones físicas y químicas del almidón, son importantes para saber qué tan conveniente resultará la incorporación del producto al ser sometido a diferentes procesos industriales. Estas características como son la humedad, proteínas, grasa, fibra, cenizas, sólidos totales fueron analizadas de acuerdo al método de la A.O.A.C., los azúcares reductores fueron determinados de acuerdo al método del “Dinitrofenol de Ross”, el (pH y la acidez titulable) se determinó de acuerdo a la norma ISI (1999) y el valor reductor alcalino determinado de acuerdo al método de Schoch (1964); estos tres últimos están descritos en el **anexo 9**, proporcionados por la FAO (2007). Todas las determinaciones se realizaron por triplicado y solo se presenta el valor promedio y la desviación estándar.

2.4.2.2. Contenido de amilosa y amilopectina aparente

En esta determinación se lleva a cabo la formación del complejo amilosa-yodo que absorbe a 635 nm. Se cuantificó utilizando colorimetría de acuerdo a Morrison y Laignelet (1983). Mediante la cual se pesó de 77 a 80 mg de almidón en matraces Erlenmeyer de 150 ml. Se añadieron 10ml de una solución urea-dimetilsulfóxido (DMSO). Después cada matraz se agitó magnéticamente hasta que la solución fuera homogénea. Posteriormente, se transfirieron los tubos a una estufa a 100 °C durante 1 hora. Transcurrido dicho tiempo, los tubos se dejaron enfriar a temperatura ambiente. Se tomaron 0,5ml de la solución y se transfirieron a matraces aforados de 50 ml y se pesaron. Se añadieron 25 ml de agua destilada a cada matraz y también 1 ml de solución yodo-yoduro de potasio (I₂-IK). Los matraces se aforaron y la solución se mezcló hasta ser homogénea. Se realizó un blanco con agua destilada y con él, se ajustó el espectrofotómetro para leer la absorbancia a 635 nm. Por último, se calculó el valor azul y el porcentaje de amilosa aparente mediante las siguientes fórmulas:

$$\text{valor azul} = \frac{\text{Absorbancia} \times 100}{2 \times \text{g de Solución} \times \text{mg de almidón}}$$

$$\% \text{ de amilosa} = 28.414 \times \text{Valor azul}$$

El contenido de amilopectina se calculó por diferencia al 100% del contenido de amilosa aparente.

La cantidad de amilosa total se determinó mediante el procedimiento anteriormente descrito, el almidón previamente desengrasado con n-propanol (3:1v/v) a reflujo durante 7 horas. Este procedimiento se realizó con la finalidad de remover los lípidos que se encuentran enlazados a la amilosa.

2.4.2.3. Caracterización de morfología de los gránulos del almidón

2.4.2.3.1. Morfología del granulo (Microscopía óptica)

Se empleó un microscopio óptico equipado con objetivos de 10x, 40x y 100x. Las muestras fueron montadas en el portaobjetos y los gránulos de almidón fueron observados con luz normal. Adicionalmente, se preparó la muestra de almidón tomando 5 ml de agua ,1 g de muestra, 3 gotas de alcohol al 96% 2 a 3 gotas de glicerina o aceite de inmersión y posteriormente fueron observados en el Microscopio.

2.4.2.3.2. Birrefringencia de granulo (Microscopía óptica)

La determinación de la birrefringencia se realizó de acuerdo al procedimiento anterior y observado en el microscopio óptico con objetivos de 40x como también con 100x.

2.4.2.3.3. Tamaño del granulo (microscopia óptica)

El tamaño se determinó, preparando una solución de la muestra de almidón, tomando 5 ml de agua ,1 g de muestra, 3 gotas de alcohol al 96% 2 a 3 gotas de glicerina; tomando una alícuota y dispersando sobre la cámara de

Neubauer y posteriormente fueron observados en el Microscopio óptico en el objetivo 40x.

2.4.2.4. Caracterización de las propiedades funcionales

La importancia de estas características radica en el posible uso tecnológico que pueda otorgarse al almidón, así como el comportamiento de los mismos al ser incorporados en algún producto.

Las propiedades funcionales tales como la temperatura de gelatinización se determinó por el método (Grace, 1977), Claridad de la pasta se determinó de acuerdo al método de (Craig *et al.*, 1989); El índice de absorción de agua, índice de solubilidad en agua y poder de hinchamiento que fueron determinados de acuerdo al método de (Anderson *et. al.*, 1969), se encuentran descritos en **anexo 10** de la presente investigación.

2.4.2.4.1. Retrogradación

La determinación de la retrogradación de los alimentos se realizó de acuerdo a la metodología propuesta por Lovedeep *et al.*, (2002); E Ishiguro *et al.*, (2003). Se prepararon dispersiones de almidón al 2% (p/p) y se colocaron en un baño maría a 85°C durante 30 min. Enseguida las dispersiones se colocaron en un baño de agua con hielo para su rápido enfriamiento. Posteriormente las muestras fueron almacenadas en refrigeración a 4°C durante 24, 72, 120 horas, transcurrido estas horas las muestras fueron centrifugadas a 4900 rpm/30 min en tubos de centrifuga para determinar la tasa de sinéresis, luego el agua de sinéresis es pesado.

Finalmente se calculó la retrogradación según la siguiente ecuación.

$$\text{Retrogradación} = \frac{\text{Peso de agua de sinéresis (g)}}{\text{Peso del gel (g)}}$$

2.1. Análisis estadístico

Los datos recolectados de los análisis se tabularan en Excel 2010 y el análisis estadístico de datos se evaluarán en base a medidas de tendencia central (Media, varianza y desviación estándar).

III. RESULTADOS Y DISCUSIONES

0.1. Caracterización de la yuca (*Manihot esculentum*) variedad guayape

0.1.1. Características biométricas y porción comestible

Las propiedades biométricas y porción comestible obtenidas, se presentan en la tabla 6, en donde se observan valores máximos y mínimos en cuanto a longitud, diámetro y peso. Estos valores no se pueden comparar con otros tipos de raíces, debido a que cada género tiene formas y tamaños diferentes.

Tabla 6: Características físicas de la yuca (*Manihot esculentum*) variedad guayape

	Longitud(cm)	Diámetro (cm)	Peso(g)	%Porción comestible
Promedio	29,56	5,616	550,894	83,05
Máximo	37,00	7,2	809,2	—
Mínimo	18,5	4,415	283,3	—

Fuente: Elaboración propia (2016)

0.1.2. Composición fisicoquímica de la yuca

Los resultados obtenidos del análisis fisicoquímico de la yuca (*Manihot esculentum*) variedad guayape, se muestra en la tabla 7. Estos valores se determinaron del promedio de tres repeticiones.

La humedad de la yuca variedad guayape presenta un valor promedio de 68,17 %, resultado que es similar al valor reportado por Ospina y Ceballos (2002) de 66,0%; según Collazos (1996) reporta un valor de 58,9%, esta

humedad depende mucho de la variedad y otros factores como: Estado de madurez, tipos de suelos, condiciones climáticas etc.

La yuca (***Manihot esculentum***) de variedad guayape tiene un contenido proteico de 1,59%, el cual es superior a los valores de reportados por Ospina y Ceballos (2002); Collazos (1996), donde hacen mención que el % de proteínas es de 1,2% y 0,8% respectivamente.

La acidez titulable y el pH de la yuca variedad guayape tienen valores de 0,069 y 6,00 respectivamente. Estos son inferiores a los reportados por Reyna (1996) en yuca veguna en un rango de acidez titulable de 0,11 a 0,12 con un tiempo de almacenamiento de 9 días y un pH de 6,4 en el primer día, teniendo en cuenta las fluctuaciones descendente de 6,02 en el cuarto día y ascendente de 6,58 en el noveno día. La variabilidad en los resultados obtenidos, en comparación con la yuca veguna, es debido a los factores tales como: condiciones climáticas, tipo de suelo, estado de madurez de la yuca, almacenamiento, etc.

El contenido de lípidos de yuca (***Manihot esculentum***) variedad guayape de 0,2%, es igual a los reportados por Ospina y Ceballos (2002) y Collazos (1996).

Las cenizas comprenden la suma de todos los minerales presentes en la muestra, y su contenido fue de 1,39%, muy distinto a los reportados por Ospina y Ceballos (2002); Collazos (1996), que se encuentran en 1,9% y 0,8 % respectivamente. Estas variaciones se deben a varios factores tales como: variedad, estado de madurez, condiciones geográficas, métodos de análisis etc.

Tabla 7: Características físicas de la yuca (*Manihot esculentum*) variedad guayape

Determinación g/100g	<i>Manihot esculentum</i>
Energía	119,84 kcal
Humedad	68,17 ± 0,39
Carbohidratos	28.65 ± 0,15
Proteínas	1,59 ± 0,04
Lípidos	0,2 ± 0,02
Fibra	0,715 ± 0,02
Cenizas	1,39 ± 0,03
%Rendimiento de almidón	14.0
%Acidez	0,069 ± 0,004
pH	6,00

Fuente: Elaboración propia (2016)

El rendimiento en la obtención de almidón de yuca (*Manihot esculentum*) variedad guayape fue de 14% por porción comestible. Eguez *et al.*, (1990) reportó rendimientos por porción comestible en yuca 16.6%, la diferencia entre el rendimiento en la yuca variedad guayape y la yuca mencionada se debe a que son variedades diferentes, el método de extracción, así como también debido a un incremento de agua antes de cosecha que ocasiona menores contenidos de almidón en la yuca (Moreno y Gourdji, 2015)

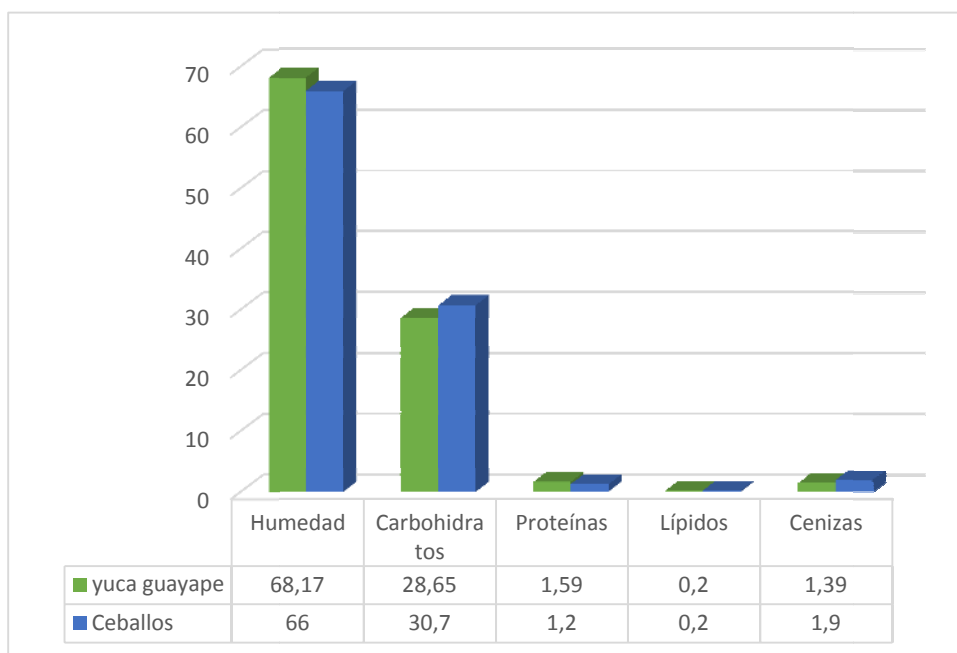


Figura 7: Comparación de las características fisicoquímicas de la yuca

*Yuca variedad guayape.

*Yuca propuesta por Ospina y Ceballos, (2002).

Fuente: Elaboración propia (2016)

0.2. Caracterización del almidón de yuca (*Manihot esculentum*) variedad guayape

0.2.1. Composición proximal del almidón

En la tabla 8 se muestra la composición fisicoquímica y estructural del almidón de yuca (*Manihot esculentum*) variedad guayape.

El contenido de humedad en la yuca (*Manihot esculentum*) variedad guayape es de 9,68%. La humedad es un factor que depende tanto de la materia prima como el método de obtención y las condiciones del proceso de deshidratación. Un contenido de humedad menor al 10% resulta conveniente para evitar el deterioro de los almidones durante su almacenamiento. Según la FAO (2007) hace mención que los almidones de yuca, en un proceso industrial y artesanal se encuentran entre 10 – 13% de humedad.

Las proteínas (polipéptidos, péptidos, amidas, aminoácidos y enzimas) son las responsables del olor característico del almidón y su capacidad espumante (Beynum y Roels, 1985). El contenido de proteína en el almidón de yuca fue de 0,058%, este valor se encuentra dentro del rango permitido según la FAO (2007), que es menor de 0,064 para almidón de yuca. Según Jiménez *et al.*, (2006) reporto para almidón de papa (0,20%). Por su parte Jayakody *et al.*, (2005) reportaron un contenido de proteínas del 0,31% en el almidón de papa china (***solenostemon rotundifolius***), mientras que Joblin, (2004) indico que el contenido proteico en el almidón de trigo es de 0,4% y en el almidón de maíz oscila entre el 0,35 al 0,5%. Hoover *et. al.*, (2003) encontraron que el almidón de avena contiene 0,25% de proteína; se observa que el almidón de yuca variedad guayape tiene contenidos de proteínas bajos con respecto a los almidones mencionados, haciéndole más atractivo en industria alimentaria. Asimismo se precisa que el contenido de proteína obtenido en el almidón de yuca variedad guayape, se encuentra dentro del límite permitido por la Administración Federal de Drogas y Alimentos – EE.UU.A (FDA) de 0,35% de proteína, para la producción de jarabes con alto contenido de glucosa, evitándose así las reacciones de Maillard que se pueden presentar durante el proceso de producción de estos productos (Zajac, 1989).

Los lípidos tienen un marcado efecto en la calidad y en las propiedades físicas y funcionales de los almidones, estos disminuyen la capacidad de retención de agua; son causantes de la formación de sabores indeseables durante el almacenamiento debido a su rancidez (Crowe *et. al.*, 2000; Hsu y Huang, 2000). El contenido de lípidos de yuca (***Manihot esculentum***) variedad guayape, fue de 0,181%. Este valor es inferior, a los datos mencionados por Ceballos y De la Cruz, 2002) , en donde especifica los gránulos del almidón de papa y yuca contienen un pequeño porcentaje de lípidos, comparado con los almidones de cereales maíz y arroz los cuales contienen 0,6% y 0,8% respectivamente.

El contenido de fibra en el almidón de yuca (***Manihot esculentum***) variedad guayape, fue de 0,174%. Ríos (2014) en su investigación menciona contenidos de fibra en los almidones de malanga de coco de 0,01%, malanga. Edoes 0,02% y yuca 0,02% respectivamente. Asimismo Hernández *et al.* (2008), reporto para almidón de yuca un porcentaje de fibra cruda de 1,01%. Es sabido que existen diferentes factores que afectan el contenido de fibra cruda como es la fuente de obtención y el estado de madurez (a mayor madurez mayor contenido de fibra), según Gutiérrez (1980).

Las cenizas están compuestas principalmente por calcio, magnesio, potasio, sodio hierro y fosforo (Badui, 2001), los cuales, con excepción del fosforo son de poca importancia en la funcionalidad del almidón, ya que el fosforo tiene una influencia significativa en las propiedades funcionales de estos materiales (Tester *et. al.*, 2004). El contenido de cenizas en el almidón de yuca (***Manihot esculentum***) variedad guayape, fue de 0,302%. Resultados similares a los obtenidos en el presente estudio se han reportados por Amritpal *et. al.*, (2007) en almidón de papa 0,45%. Hernández *et. al.*, (2008) reportó contenidos de cenizas en almidones de makal de 0,12%, camote 0,26%, yuca 0,29% y sagú 0,22%. Según la FAO (2007) hace mención, que cuando el proceso de extracción de almidón es realizado a escala artesanal, semimecanizada o con tecnologías solares, para el secado del almidón; este presenta un alto contenido de cenizas como resultado del método de secado.

Los carbohidratos constituyen el principal componente de los almidones. El valor del mismo obtenido en el presente estudio fue de 89,775%, inferior a lo reportado Jiménez *et. al.*, (2006) en almidón de tubérculo de chayote y papa (98,56% y 98% respectivamente).

Tabla 8: Composición fisicoquímica del almidón la yuca (*Manihot esculentum*) variedad guayape

Determinación g/100g	Almidón
Humedad	9,684 ± 0,09
Carbohidratos	89,775 ± 0,03
Proteínas	0,058 ± 0,04
Lípidos	0,181 ± 0,02
Fibra	0,174 ± 0,01
Cenizas	0,302 ± 0,005
Sólidos totales	90,316 ± 0,11
Amilosa aparente	21,508 ± 0,05
Amilopectina	78,492 ± 0,05
Amilosa total	22,674 ± 0,08
Complejo lípidos-amilosa	5,141 ± 0,54
Azúcares reductores	0,232 ± 0,05
Valor reductor alcalino	0,5 ± 0,11
Ácidos titulable	0,009 ± 0,00
pH	4,59 ± 0,04

Fuente: Elaboración propia (2016)

El valor de azúcares reductores en el almidón de yuca (*Manihot esculentum*) variedad guayape, fue de 0,232%, Según la FAO, (2007) menciona que en el almidón no debe haber la presencia de azúcares reductores caso contrario se debe a un proceso de extracción no eficiente. En el almidón obtenido encontramos presencia de azúcares reductores se puede decir que es debido a que la yuca para el proceso de extracción se ha

pasado más de 48 horas y al no ser almacenada en condiciones de refrigeración se haya presentado la activación enzimática y por ende el desdoblamiento en azúcares reductores.

El valor reductor o número de ferricianuro de almidones frescos debe ser menor de uno FAO, (2007). El reductor alcalino encontrado en la presente investigación es de 0,5% y se encuentra dentro del rango indicado anteriormente.

Según la FAO (2007) hace mención que los requerimientos para un almidón de yuca de calidad el pH debe estar en el rango estándar de 4,5 – 5,5 y para la, acidez titulable es de un rango de $2,2 \times 10^{-3}$ – $5,5 \times 10^{-3}$ meq de ácido láctico/g de almidón. Los valores del pH y la acidez titulable obtenidos fueron 4,59 y 9×10^{-3} meq del ácido láctico/g de almidón. Asimismo se observa que el PH se encuentra dentro del rango, en tanto que la acidez titulable es superior al rango anteriormente descrito, esto puede ser debido a un deterioro fisiológico así como mencionan los investigadores (Rickard y Coursey, 1981; Wheathey, *et. al.*, 1985) que en la yuca es una respuesta de estrés abiótico, que aparece 24 a 48 horas después de la cosecha y se manifiesta por cambios fisiológicos y bioquímicos de ultra estructura de la raíz.

0.2.2. Contenido de amilosa y amilopectina

En el almidón de yuca (*Manihot esculentum*) variedad guayape, se obtuvo un contenido de amilosa aparente de 21,5 % y un contenido de amilosa total de 22,6%. Según Ríos (2014) en su investigación reportó un contenido de amilosa en almidón de yuca de 23,88%; Hernández *et. al.*, (2008), en su investigación hace mención que el contenido de amilosa en almidón de yuca es de 17%. Así mismo en el almidón de mandioca o yuca existe un amplio rango de valores reportados por otros autores: Swinkels (1985) y Hung y Morita (2005) informaron que contiene 17% de amilosa; mientras que Aryee *et. al.*, (2006) trabajando con 31 variedades de mandioca encontraron que el

mismo varió entre 10,9 y 44,3%. Estas diferencias podrían estar relacionadas con las variedades de mandioca empleadas, las condiciones de crecimiento del cultivo como así también el método de cuantificación utilizado (Mali *et al.*, 2002). Los bajos valores de amilosa podrían relacionarse con la alta digestibilidad y estabilidad de sus pastas (Skrabanja *et al.*, 1999). Esta característica los hace muy atractivos como aditivos alternativos al almidón.

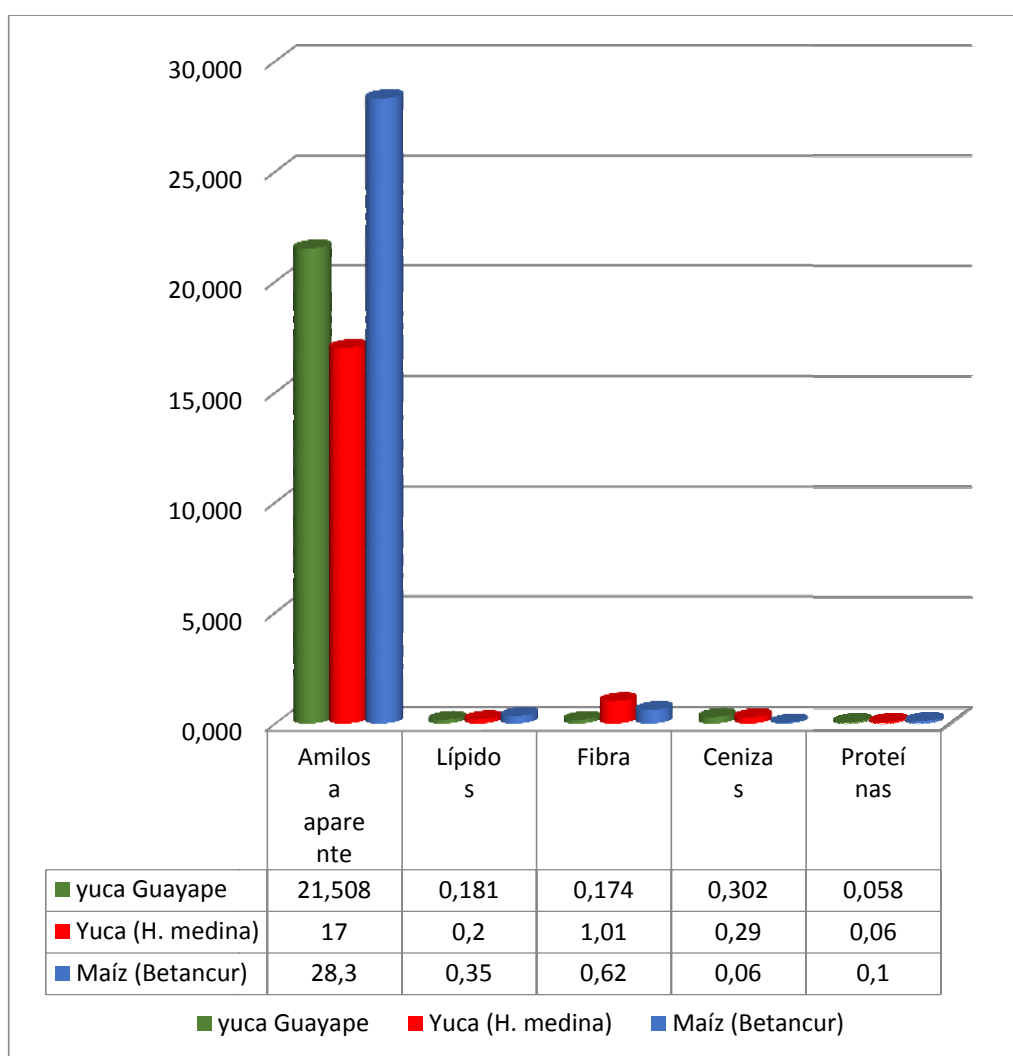


Figura 8: Comparación fisicoquímica de almidón de yuca variedad guayape

Yuca variedad guayape

Yuca propuesto por Hernández *et al.* (2008)

Maíz propuesto por Betancur, (2001)

Fuente: Elaboración propia (2016)

Ríos (2014) en su investigación reportó contenidos de amilosa para los almidones de tres variedades de malanga: *M. coco* 13,05%, *M. Isleña* 14,78%, *M. Edoes* 16,74%; Hernández *et. al.*, (2008), en su investigación reportaron valores del contenido de amilosa en tubérculos como el de makal 23,6%, camote 19,6%, sagú 22,7%; según Agama *et. al.*, (2005) mencionan en su investigación que el contenido de amilosa para el almidón de maíz blanco es de 27%, maíz azul 20% y maíz negro 22%; y (González y Sánchez, 2007) para el almidón de papa con 22% de amilosa.

El contenido de amilosa de almidón de yuca variedad guayape se encuentra en valores muy parecidos a los tubérculos antes mencionados y con una clara diferencia respecto al almidón de maíz blanco.

0.3. Caracterización morfológica de los gránulos

0.3.1. Morfología del granulo

Las microfotografías de los gránulos del almidón se muestran en la figura 9. El almidón de yuca (*Manihot esculentum*) variedad Guayape tiene forma esférica truncada, similar al encontrado por Hernández-Medina *et al.* (2008), así como también encontrados Sosa (2003) en dos variedades cubanas de yuca (*Manihot esculenta* Crantz); de la misma manera que lo describe Taggart (2004) en la tabla 4.

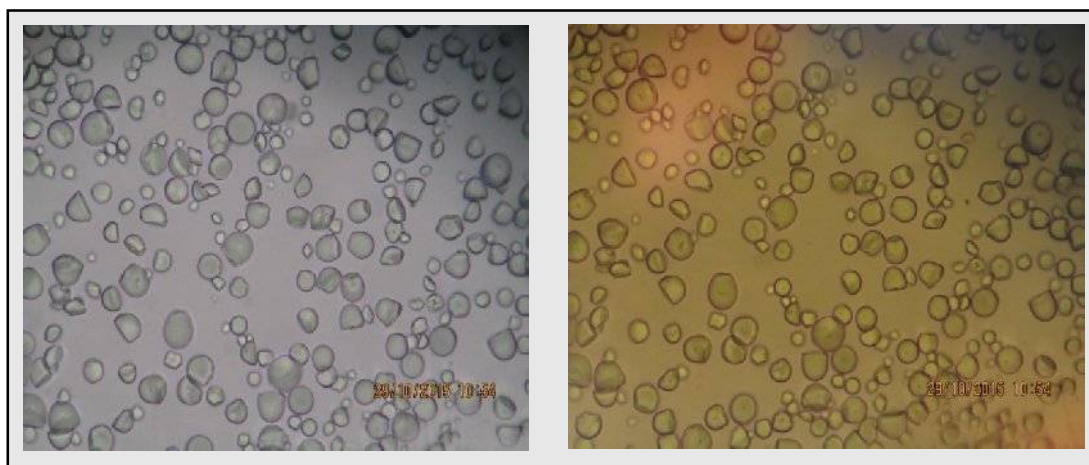


Figura 9: Micrografías ópticas de la forma del almidón de yuca (*Manihot esculentum*) variedad guayape

Fuente: elaboración propia (2016)

0.3.2. Birrefringencia del granulo

En la figura 10, se presenta la birrefringencia del almidón de yuca (*Manihot esculentum*) variedad Guayape donde se muestra la cruz de Malta bien definida pero no muy pronunciada.

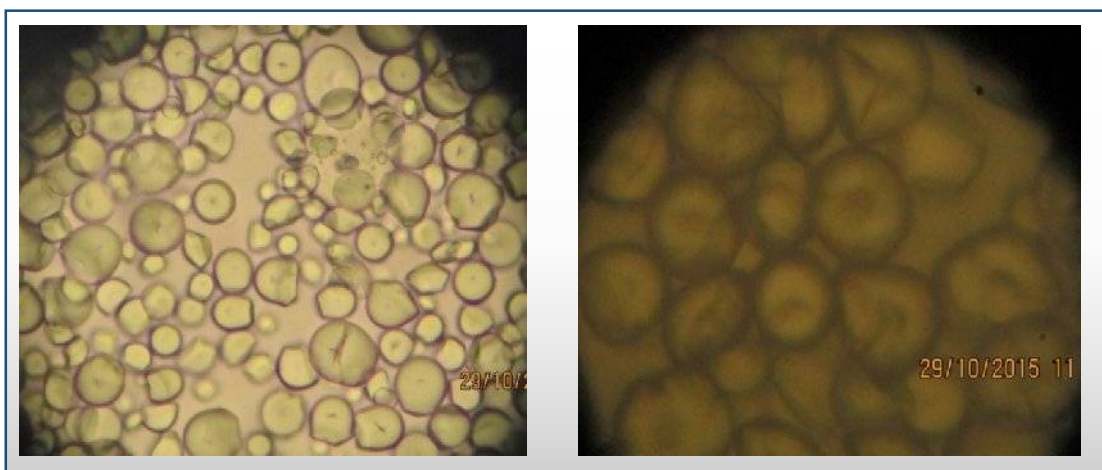


Figura 10: Micrografías ópticas de birrefringencia del almidón de yuca (*Manihot esculentum*) variedad guayape

Fuente: Elaboración propia (2016)

0.3.3. Tamaño de granulo

En el almidón de yuca (*Manihot esculentum*) variedad guayape se encontró gránulos de tamaño en un rango de $4\mu\text{m}$ a $6,67\mu\text{m}$, según (Moorthy, 2002) en su investigación reportó tamaños de gránulos de almidón de yuca en un rango de 3 a $43\mu\text{m}$. Así mismo Sívoli *et. al.*, (2012) en su investigación reportaron tamaños de gránulos de almidón de yuca con intervalos de 0,5 a $7,5\mu\text{m}$, y otro con gránulos más grandes de $7,6\mu\text{m}$ hasta $35,6\mu\text{m}$, respectivamente. De los resultados obtenidos de la yuca variedad guayape se puede decir que dichos tamaños se encuentran dentro del rango de las investigaciones anteriormente mencionadas.

Según (Lindeboom *et al.*, 2004), el tamaño de los gránulos de almidón se clasifican como gránulos grandes ($>25\mu\text{m}$), gránulos medianos ($\geq 10 \leq 25 \mu\text{m}$), gránulos pequeños ($\geq 5 \leq 10 \mu\text{m}$) y gránulos muy pequeños ($<5 \mu\text{m}$), de acuerdo a esta definición podemos decir que el almidón de yuca (***Manihot esculentum***) variedad guayape, presentan gránulos pequeños ($\geq 5 \mu\text{m} \leq 10$). Para estos tipos de almidones con gránulo pequeños presentan mayor solubilidad y alta capacidad de absorción de agua (Singhal y kulkarni, 1988). Asimismo Lamadrid *et al.*, (2009) reportaron que a menor tamaño del gránulo de almidón la velocidad de hidrólisis aumenta pues se presenta una mayor área superficial para el ataque enzimático, por lo que estos almidones podrían utilizarse como posibles sustratos para la producción de diferentes compuestos de interés industrial, entre ellos, las dextrinas, ciclodextrinas, fructosas, entre otros. Además un tamaño pequeño de gránulo influye de manera positiva en la digestibilidad y biodisponibilidad que asciende hasta un 96% del mismo, siendo apropiado para la formulación de alimentos para niños y personas en convalecencia; del mismo modo, los almidones se pueden hidrolizar a glucosa y utilizar como edulcorantes o como materias primas para la elaboración de películas plásticas (Barreto *et al.*, 2012).

0.4. Propiedades funcionales del almidón

0.4.1. Temperatura de gelatinización

La temperatura de gelatinización del almidón de yuca (***Manihot esculentum***) variedad guayape, obtenido en el presente estudio fue de 66°C (ver tabla 9) Según Hernández *et al.*, (2008) en su investigación reportaron temperaturas de gelatinización para los almidones de makal de $78,4^{\circ}\text{C}$, camote $61,3^{\circ}\text{C}$, yuca $65,2^{\circ}\text{C}$ y sagú $74,9^{\circ}\text{C}$ respectivamente. Mientras que Charles *et al.*, (2005), reporto para cinco variedades de yuca, con un rango de temperatura de gelatinización $64,4$ a $69,9^{\circ}\text{C}$. Asimismo la FAO (2007), reporto para los requerimientos de un almidón de yuca de buena calidad un rango estándar de $58,5$ a $70,0^{\circ}\text{C}$, el valor obtenido en yuca variedad guayape se encuentra dentro los rangos reportados antes mencionados, en comparación con otros almidones de otra fuentes, se observa que la

temperatura de gelatinización es inferior. Según Hernández *et al.*, (2008) estos valores bajos de temperatura de gelatinización hace que se utilice en productos tales como; caramelos tipo chiclosos, natillas, pudines, etc.

Tabla 9: Temperatura de gelatinización del almidón de yuca (*Manihot esculentum*) variedad guayape.

Producto	Temperatura de gelatinización
Yuca guayape	66°C
Hernández(yuca)	65,2°C
Charles(yuca)	64,4°C - 69,9°C

Fuente: elaboración propia (2015)

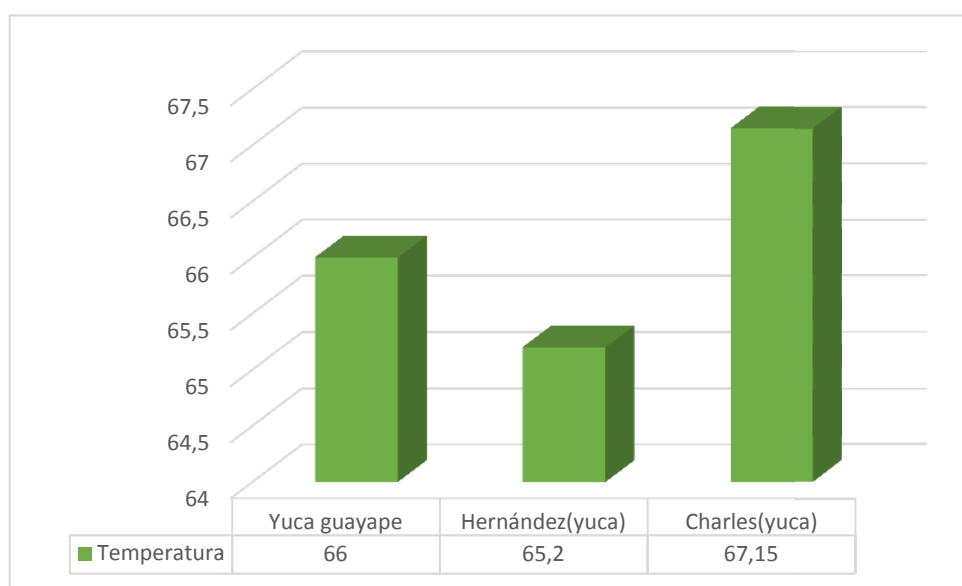


Figura 11: Comparación de la temperatura de gelatinización de la yuca

Fuente: Elaboración propia (2016)

0.4.2. Índice de absorción de agua, índice de solubilidad en agua y poder de hinchamiento.

En la tabla 10 presentamos los valores obtenidos de índice de absorción de agua, índice de solubilidad y poder de hinchamiento.

Tabla 10: Índice de absorción de agua, índice de solubilidad en agua y poder de hinchamiento del almidón de yuca (*Manihot esculentum*) variedad guayape.

PROPIEDADES	TEMPERATURA(°C)				
	50	60	70	80	90
Absorción de agua	2,11±0,01	5,9± 0,03	7,58±0,03	7,88±0,08	12,99±0,29
Índice de solubilidad	2,50 ± 0,21	4,36±0,11	4,73±1,61	6,79±0,19	8,55 ± 0,28
Poder de hinchamiento	2,16 ± 0,01	6,67±0,05	7,93±0,03	8,41±0,26	15,26±0,22

Fuente: Elaboración propia (2016)

0.4.2.1. Índice de absorción de agua

En el figura 11 se puede apreciar que la capacidad de absorción de agua (CAA) para el almidón de yuca (*Manihot esculentum*) variedad guayape estudiado en el presente trabajo aumentó proporcionalmente con la temperatura; observándose un valor máximo de absorción de agua de 12,99 (g agua/g almidón) a una temperatura de 90°C. Según Hernández *et al.*, (2008), en su investigación reportaron un valor máximo de la capacidad de absorción de agua a una temperatura de 90°C, para el almidón de yuca de 27,18 (g agua/g almidón). Ríos (2014) en su investigación menciona que la máxima absorción de agua para el almidón de yuca se da en los intervalos de temperatura 80°C a 90°C. Así mismo FAO, (2007) menciona que el índice de absorción de agua en el almidón de yuca varía entre 0,82 a 15,52 g gel/g muestra; según esta definición se observa que los valores obtenidos

del índice de absorción de agua de almidón de yuca variedad guayape se encuentran dentro de este rango.

La capacidad de absorción de agua depende directamente del tipo de almidón, así como también depende de factores como el contenido de amilopectina, el tamaño y la forma de los gránulos (Aristizábal y Sánchez, 2007)

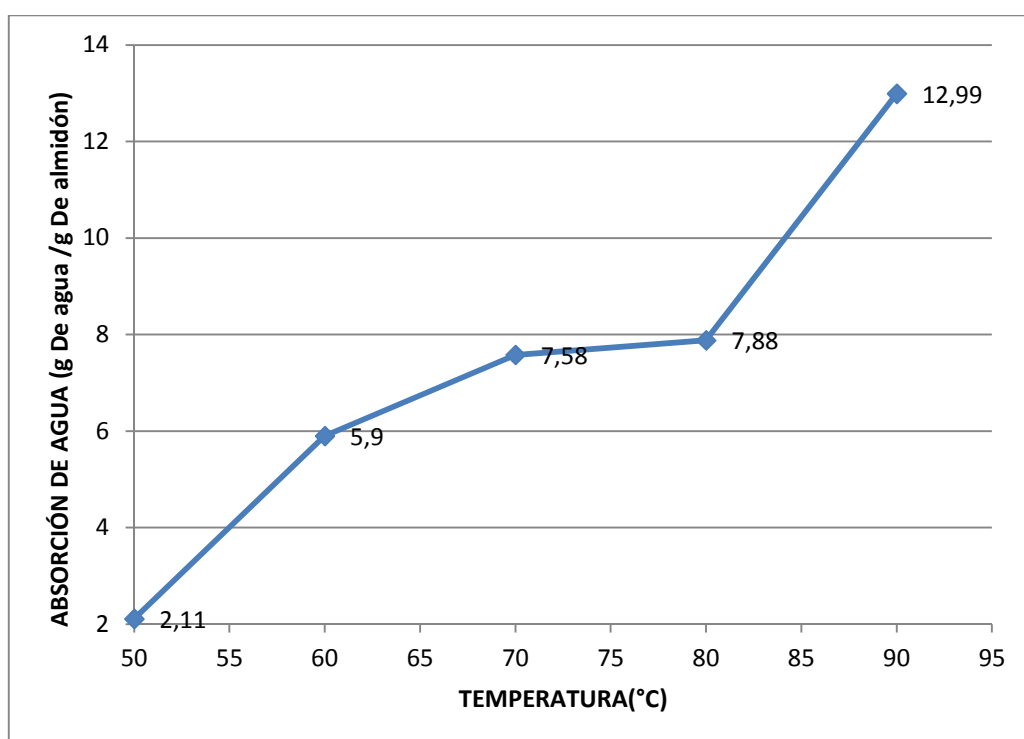


Figura 12: índice de absorción de agua del almidón de yuca (*Manihot esculentum*) variedad guayape a diferentes temperaturas

Fuente: Elaboración propia (2016)

0.4.2.2. Índice de solubilidad.

Para el porcentaje de solubilidad se observó que mientras mayor sea la temperatura también lo es el porcentaje de solubilidad, incrementándose a partir de los 60°C, tal como se muestra en la figura 12. Según la FAO, (2007) el índice de solubilidad de yuca debe de estar en un rango de 0,27-12,3%; en la tabla 10 se muestran los valores obtenidos del presente

estudio donde se corrobora que los datos se encuentran dentro de este rango establecido.

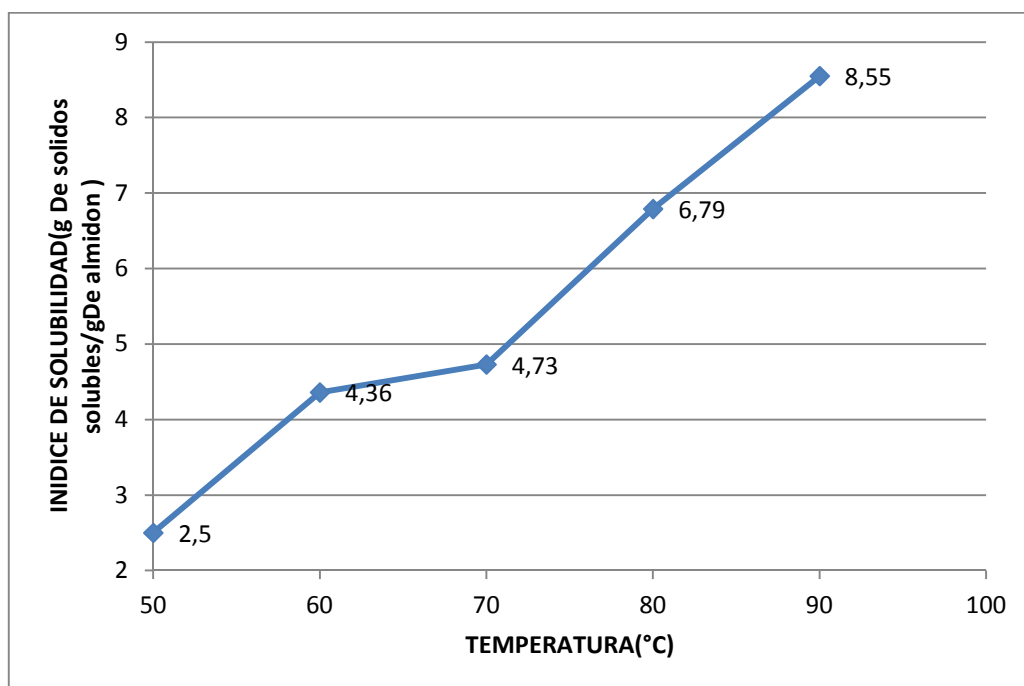


Figura 13: índice de solubilidad de agua del almidón de yuca (*Manihot esculentum*) variedad guayape a diferentes temperatura

Fuente: Elaboración propia (2016)

0.4.2.3. Poder de hinchamiento o factor de hinchamiento(FH)

El poder de hinchamiento de los almidones es una propiedad de su contenido de amilopectina, siendo la amilosa un diluyente e inhibidor del hinchamiento (Cheng *et. al.*, 1996). El poder de hinchamiento de la yuca (*Manihot esculentum*) variedad Guayape con un porcentaje de 21,508% de amilosa alcanza FH, 15,26% a una temperatura de 90°C. Según Hernández Medina et al., (2008) en su investigación mencionan que el almidón de yuca fue el que presentó mayor poder de hinchamiento (58,83 g agua/g almidón a 90 °C), con 17% de amilosa. Comparando con los almidones de makal que presentó 28,56 g agua/g almidón, con 23,6% de amilosa; el camote, 25,53 g agua/g almidón, con un contenido de amilosa de 19,6% y, finalmente, el

sagú, 16,98 g agua/g almidón, con 22,69% de amilosa. Torre *et. al.*, (2008) menciona que el factor de hinchamiento del almidón de yuca y de maíz es de (16,6 y 16,8 g de gel/g solidos solubles, respectivamente). Por su parte la FAO, (2007) menciona valores de referencia del poder de hinchamiento en almidón de yuca de 0,79 y 15,45. Datos que son muy similares a los obtenidos en la presente investigación.

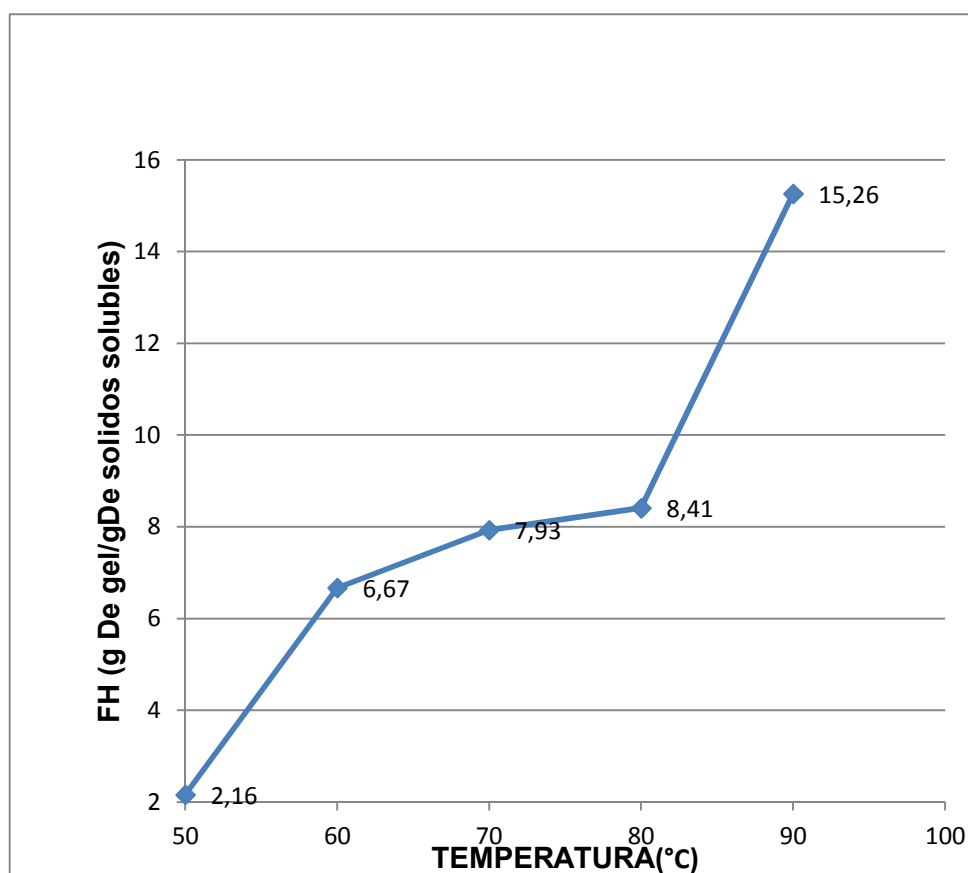


Figura 14: Poder de hinchamiento el almidón de yuca (*Manihot esculentum*) variedad guayape a diferentes temperaturas.

Fuente: Elaboración propia (2016)

0.4.3. Claridad de la pasta

En el presente estudio la claridad de pasta mantenido en reposo a temperatura ambiente, el almidón de yuca (*Manihot esculentum*) variedad guayape, se ve afectado en el transcurso del tiempo, con un aumento de su claridad, tal como se muestra en la tabla 11.

La claridad de pasta obtenido al momento de ser evaluado fue de 59,35% (T), de transmitancia, valor que es superior a los reportados por Hernández *et. al.*, (2008) en almidones de makal 10,9%, camote 24,6%, yuca 51,8% y sagú 13,6% de transmitancia (T), respectivamente. Así mismo Karina Ríos (2014) reportó valores de transmitancia para los almidones de yuca 10,2%, malanga Coco 0,3%, malanga Isleña 1,03% y malanga Edoes 1,63%.

Novelo y Betancur (2005) mencionan que los almidones que presentan menor cantidad de amilosa son fácilmente dispersados, por lo que se incrementa su claridad, al igual que los que presentan mayor poder de hinchamiento. Caso contrario ocurre en el almidón estudiado en esta investigación que teniendo un contenido de amilosa del 21,508 por ciento, tiene mayor claridad que los almidones reportados por otros autores.

Los almidones que presentan valores elevados de transmitancia, tales como el de yuca podrían ser utilizados en alimentos como mermeladas, gelatinas, y en confitería para la elaboración de gomitas. Hernández *et. al.*, (2008).

Tabla 11: Claridad de pasta del almidón yuca (*Manihot esculentum*) variedad guayape

MUESTRA	T IEMPO (h)		
	0	24	48
Almidón de yuca	59,35 ± 0,07	60,67 ± 1,25	65,65 ± 1.34

Fuente: Elaboración propia (2016)

0.4.4. Retrogradación

Los valores de la retrogradación en el almidón de yuca (*Manihot esculentum*) variedad guayape, se muestran en la tabla 12, los cuales se mantienen estables durante el almacenamiento a 4°C por un tiempo de 5 días. En tanto que López (2012) reportó valores de retrogradación a una

temperatura, de 4°C de almidón nativo de maíz que presentaron un grado de sinéresis de $40,09 \pm 1,04\%$, mientras que para las pastas de ahípa y mandioca resultó para los mismos $0,21 \pm 0,01\%$ y $4,07 \pm 0,77\%$, respectivamente. Así mismo Hernández *et al.*, (2008) reportó a 4°C para almidón de yuca 0 % de sinéresis en un tiempo de almacenamiento de 5 días. Por su parte Jiménez, *et. al.*, (2006) reportó valores de retrogradación en los almidones de maíz $80,66 \pm 3,21$, chayote $66,33 \pm 4,60$ y de papa $64,16 \pm 0,18$.

Según este estudio se observa que la yuca variedad guayape es superior al valor de almidón de yuca reportado por López, (2012); la variabilidad de los datos mencionados es debido a la concentración de amilosa, que en este caso para la variedad guayape es de 21,508% y para la yuca del autor anteriormente mencionado un valor de 17%.

Según Hernández, *et. al.*, este puede emplearse como agente espesante y estabilizante en sistemas alimenticios que requieran estabilidad en refrigeración.

Tabla 12: Retrogradación del almidón yuca (*Manihot esculentum*) variedad guayape

MUESTRA	TIEMPO (h)		
	24	72	120
ALMIDÓN DE YUCA	$5,3295 \pm 0,86$	$5,1876 \pm 0,45$	$5,1798 \pm 0,099$

Fuente: Elaboración propia (2016)

IV. CONCLUSIONES.

- En la determinación de las propiedades biométricas de la yuca (***Manihot esculentum***) variedad guayape, se obtuvieron valores promedios de longitud 29,56 cm, diámetro 5,616 cm, peso 550,89 g y porción comestible 83,05 por ciento, respectivamente. Así mismo se obtuvieron valores de las características fisicoquímicas de la yuca tales como humedad 68,17%, proteínas 1.59%, lípidos 0,2%, fibra 0,171%, cenizas 1,39%, carbohidratos 28.65%, % de acidez 0.069, pH 6.
- Los valores promedios obtenidos de la composición fisicoquímica del almidón de yuca fueron: Proteínas 0.058%, grasa 0,181%, fibra cruda 0,174%, cenizas 0,302%, carbohidratos 89.59%, también se determinó el contenido de amilosa 21,508% y amilopectina 78,492%. Con respecto a las características del grano del almidón se observó, que tiene una forma esférica truncada, su birrefringencia presenta una cruz de malta bien definida pero no muy pronunciada, así como también se observó que el tamaño del granulo se encuentra en un rango de 4 µm a 6,67µm, teniendo mayor cantidad de gránulos entre el rango de 5 µm a 6,67 µm.
- En la determinación de la propiedades funcionales de almidón de yuca variedad guayape se obtuvo los siguientes valores: temperatura de gelatinización 66°C, claridad de pasta 59.35% de transmitancia, índice de absorción de agua máximo 12.99 (g de agua / g de almidón) a una temperatura de 90°C, índice de solubilidad máximo a 8.55 (g de solidos solubles/ g de almidón) a una temperatura de 90°C, poder de

hinchamiento máximo 15.26 (g de gel/ g de solidos solubles) a una temperatura de 90°C, y un valor de retrogradación aproximado de 5%.

- Se concluye que el almidón de yuca variedad guayape tiene un contenido de proteínas de 0.058% esto le hace factible para la producción de jarabes con alto contenido de glucosa. Con respecto al contenido de lípidos de 0,181%, esto hace posible su aplicación en productos que tengan almacenamiento prolongado. La temperatura de gelatinización es de 66 °C, debido a esta temperatura puede aplicarse en la elaboración de productos que requieran bajas temperaturas tales como caramelos tipo chiclosos o natillas, pudines, etc. Con el valor promedio de la claridad de pasta de 59.35% de transmitancia este almidón por su alta claridad puede ser aplicado en la industria de mermeladas, gelatinas y en confitería para la elaboración de gomitas, etc. El contenido de retrogradación se encuentra en un valor aproximado de 5% este puede emplearse como agente espesante y estabilizante en sistemas alimenticios que requieran estabilidad en refrigeración.

V. RECOMENDACIONES

- Con respecto al proceso de extracción se puede recomendar que para obtener un buen almidón, en la etapa de filtrado se debe emplear filtros especiales para no obtener impurezas que afecten la calidad del mismo.
- En la etapa de secado de del almidón de yuca se recomienda usar temperaturas menores de 60°C y así evitar la hidrólisis del almidón.
- Se recomienda el uso de tubos de centrifuga de 30 a 50 ml de capacidad para poder tener más precisión en la determinación del índice de absorción de agua, índice de solubilidad, poder de hinchamiento y retrogradación.
- Con respecto al tamaño del granulo de almidón para su medición se recomienda un microscopio electrónico de barrido (MEB), por ser más exacto.
- Se recomienda el uso del almidón de yuca variedad guayape en la elaboración de películas comestibles, en la elaboración de jarabes con alto contenido de glucosa, elaboración de productos para niños y personas en convalecencia, elaboración de pudines, gelatinas y mermeladas, como espesante y estabilizante.
- Realizar los estudios de reología para conocer el comportamiento viscoso, el comportamiento elástico y la relación entre ellos, a través de las determinaciones de viscosidad amilográfica, firmeza del gel y propiedades de plastificación.

- Se recomienda que el almidón de yuca variedad guayape procedente de la obtención del afrecho producto empleado en la elaboración de King Kong, se emplee en la elaboración de productos mencionados en esta investigación, obteniéndose dicho almidón con un buen proceso de extracción y secado.

VI. REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

- A.O.A.C. (1997). Official methods of analysis of the association of official analytical chemists. 16 ed. Vol. I y II. EEUU.
- A.O.A.C. (1985). Official methods of analysis of the association of official analytical chemists. 16 ed. Vol. I y II. EEUU.
- A.O.A.C. (2005). Official methods of analysis of the association of official analytical chemists. 16 ed. Vol. I y II. EEUU.
- AGAMA, E., OTTENHOF, M., FARHAT, I. A., PAREDES-LÓPEZ, O., ORTÍZ-CERECERES, J. Y BELLO-PÉREZ, L. A. (2005). Aislamiento y caracterización del almidón de maíces pigmentados. *Agrociencia*. 39: 419-429.
- AMRITPAL, K., NARPINDER, S., RAJRATHNAM, E., Y HARMEET, S. G. (2007). Physicochemical, thermal and pasting properties of starches separated from different potato cultivars grown at different locations. *Food chemistry*, 102: 643 – 651.
- ASPINAL, G.O. (1983). THE POLYSACCHARIDES. Vol. 3. New York, Estados Unidos de América Academic Press.
- ARYEE, F.; ODURO, I.; ELLIS, W. Y AFUAKWA, J. (2006). The physicochemical properties of flour samples from the roots of 31 varieties of cassava. *Food Control*, 17(11), 916-922.
- ARISTIZÁBAL, J., SÁNCHEZ, T. Y MEJÍA, L. (2007). Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca. Boletín de servicios agrícolas de la FAO 163. Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación, 2007. pp 1 – 137.

- BADUI, S.D. (2001). Química de los alimentos. Ed. Pearson Education México D.F. pp. 94-104.
- BADUI, S.D. (2006). Química de los alimentos. cuarta edición, Ed. Pearson Education México D.F.
- BALDWIN, P.M (2001). Starch granule-associated proteins and polypeptides: a review, *Starch/Starke* 53:457-503.
- BARRETO, S. A., ROJAS DE GASCUE, B., PRIN, J. L., PÉREZ, E. Y ORTÍZ, S. (2012). Necesidad de sustitución de las fuentes tradicionales de almidón: avances en los estudios de gránulos de almidón obtenidos de Ocumbo chino (*Colocasia esculenta* L schott) y de sus mezclas con Canavalia (*Canavalia ensiformis*).*Rev. LatinAm. Metal. Mat.* S5: 12-15
- BEYNUM, G.M.A. Y ROELS, J.A. (1985). Starch conversion technology. Ed. Marcel Dekker. New York, estados unidos. pp 360.
- BERNARDO OSPINA, HERNÁN CEBALLOS. La yuca en el tercer milenio: Sistemas modernos de producción, procesamiento, utilización comercial y comercialización/compilado. Cali Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical; Consorcio Latinoamericano del Caribe de apoyo a la investigación y desarrollo de la yuca, (2002).
- BEECHING, J.R.; DODGE. A.D.; MOORE, K.G.; WENHA, J.E. (1995). Physiological Deterioration in Cassava: An Incomplete Wound Response? In: A.-M. Thro &W. Roca (Eds.), *The Cassava Biotechnology Network: Proc Second Int Sci Meet*, pp. 729- 736. CIAT, Cali, Colombia.
- BILIADERIS CG, MAURICE TJ Y VOSE JR. (1980). Starch gelatinization phenomena studied by differential scanning calorimetry. *J Food Sci.* 45:1660-1680.
- BILIADERIS, C.G. PAGE, C.M., MAURICE, T.J. Y JULIANO, B.O. (1986). Thermal characterization of rice starches: a Polymeric approach to phase transition of granular starch. *Journal of agricultural and food Chemistry*, 34: 6-14.

- BILIADERIS, C.G. (1991). The structure and interactions of starch with food constituents. Canadian Journal of Physiology and Pharmacology, 69: 60-63.
- BILIADERIS, C.G. (1991A). The structure and interactions of starch with food constituents. Can J Physiol Pharmacol, 69: 60-78.
- BILIADERIS, C.G., AND PROKOPOWICH, D.J. (1994). Effect of polyhydroxy compounds on structure formation in waxy maize starch gels: a calorimetric study. Carbohydrate polymers. 23:193- 202.
- BOOTH R.H. (1976). Almacenamiento de raíces de yuca. Causas del deterioro que se presenta después de la cosecha de las raíces frescas. Serie ES 16. CIAT, Cali Colombia.
- BULEÓN, A., COLONNA, P., Y LELOUP, V. (1990). Les amidones et leurs dérivés dans les industries des céréales. Industries alimentaires et agro-industrielles. juin. 515-532.
- BULEON, A., COLONNA, P., PLANCHOT, V., Y BALL, S. (1998). Starch granules: Structure and biosynthesis. Mini review. Int. J. Biol. Macromol, 23:85-112.
- BUSCHAMANN H.; RODRIGUEZ, M.X.; TOHME, J.; BEECHING, J.R. (2000). Accumulation of non-hydroxycoumarins during post-harvest deterioration of tuberous roots of cassava (*Manihot esculenta* Crants). Ann. Bot. 1153-1160.
- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical) (1977). Annual report. Centro internacional de Agricultura Tropical, Cali, Colombia.
- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). (2000). http://ciat.cgiar.org/esp/proyectos/bar_bpl.htm.
- CIAT. (centro internacional de agricultura tropical) (2002). Project IP3, Improved cassava for the developing World, Annual report 2002. Apdo Aereo 6713, Cali, Colombia.
- CEBALLOS, H. Y DE LA CRUZ, A. (2002). Taxonomía y morfología de la yuca. En: Ceballos, H. y Ospina, B. La yuca en el tercer milenio. Sistemas modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización, p. 28. CIAT. Cali, Colombia. 586 pp.

- CEBALLOS H., IGLESIAS, C.A.; PEREZ, J.C.; DIXON, A.G.O. (2004). Cassava breeding: opportunities and challenges. *Plant molecular Biology* 56: 503-516, 2004.
- CEBALLOS H., SANCHES, T.; A.L.; IGLESIAS, C.; DEBOUCK, D.; MAFLA, G.; TOHME, J. (2006). Variation in crude protein content in Cassava (***Manihot esculentum*** Crantz) roots. *Journal of Food composition and analysis* 19: 589-593.
- CEÑOZ J. P.; LOPEZ A.; BURGOS, A.M. (2001). Factores ambientales que regulan el deterioro poscosecha en Mandioca (***Manihot esculentum*** Crantz). Facultad de Ciencias Agrarias – UNNE. Sargento Cabral 2131- (3400) Corrientes – Argentina. Disponible en <<http://www1.unne.edu.ar/cyt/2001/5-Agrarias/A-011.pdf>>
- COUSIDINE, D.M.(1982). Foods and Foods and Food Production Encyclopedia. John Wiley Inc., New york, p.142.
- COCK, JAMES H. (1989). La yuca, nuevo potencial para un cultivo tradicional. --Cali Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical, 1989. 240 p. ISBN 84-89206-82-I.
- CORPORACIÓN CLAYUCA (2012). Manejo de poscosecha entado en <http://www.clayuca.org/sitio/index.php/manejo-poscosecha>.
- CORTEZ D.F.; REILLY, K., BEECHING, J.R.; TOHME, J. (2002). Mapping genes implicated in post-harvest physiological deterioration in cassava (***Manihot esculentum*** Crantz). *Euphytica* 128: 47-53.
- COWIESON AJ. (2005). Factors that affect the nutritional value of maize for broilers. *Animal feed Sci technol.* 119: 293-305.
- CHARLES, A. L. *et. al.*, (2005). Influence of amylopectin structure and amylose content on the gelling properties of five cultivars of cassava starches. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 53, n. 7, p. 2717-2725.
- CHAVEZ A.L.; BEDOYA, J.M.; SANCHEZ, T.; IGLESIAS, C.A., CEBALLOS, H.; ROCA, W. (2000). Iron, carotene, and ascorbic acid in cassava roots and leaves. *Food Nutrition Bull.* 21: 410-413.

- CHENG, Y.; TSAI, M.; TSENG, K. Effect of amylose content on the rheological property of rice starch. *Cereal Chemistry*, v. 73, n. 4, p. 415-420, 1996.
- CHUNG, H.J., HAN, A.J, YOO, B., SEIB, A. P., AND LIM, T.M. (2008). Effects of molecular size and chain prolife of Waxy cereal amylopectins on paste rheology during retrogradation. *Carbohhydrate Polymers*.71: 365-371.
- CRAIG, S.A.S., MANINGAT, C.C., SEIB, P.A. Y HOSENEY, R.C. (1998). Starch paste clarity. *Cereal chemistry*, 66: 173-182
- CROWE, T.C., SELINGMAN, S.A. Y COPELAND, L. (2000). Inhibition of enzyme digestion of amylose by free fatty acids in vitro contributes to resistant starch formation, *Journal of nutrition*, 130: 2006-2008.
- DEBET, R.M. Y GIDLEY, J.M. (2006). Three classes of starch granule swelling: Influence of Surface proteins and lipids. *Carbohydrate Polymers*, 64 (3): 452-465.
- DEFLOOR, I.; DEHING, I.; DELCOUR, J. (1998). Physico - chemical properties of cassava starch. *Starch/Starke* 50:58-64.
- DELPEUCH, F. Y FAVIER, J.C. (1980). Caractéristique des amidons de plantas alimentaires tropicales: action de l’alpha-amylase, gonflement et solubilité. *Paris, Ann. Technol. Agric.*, 29(1): 53-67.
- DUPRAT, F., GALLANT, D., GUILBOT, A., MERCIER, C. Y ROBIN, J.P. (1980). *Les polymères végétaux*. Paris, Monties. pp. 176-231.
- DUXBURY, D.D. (1989). Modified starch funtionalities- no chemycals or enzymes. *Food processing*, 50: 35-37.
- EMILIO REYNA CARLOS, (1996). **TESIS** “Manejo poscosecha y evaluación de la calidad para la yuca (*Manihot esculenta*), que se comercializa en la ciudad de Neiva”.
- FERNANDEZ, A.; WENHAM, J.; DUFOUR, D.; WHEATLEY C. C. (1996). The influence of variety and processing on the physicochemical and functional properties of cassava starch and flour. In: *Cassava Flour and Starch: Progress in Research and*

Development. Dufour, D., O'Brien, G. M., Best R., Eds.; CIRAD/CIAT, Montpellier France/ Cali Colombia.; pp 263-269.

- FRENCH D. (1984). Organization of starch granules. In: Starch: Chemistry and technology. Whistler, R.L., BeMiller, J, N. and Pashchall, E.F. (Eds.). London, Academic Press., New York, pp: 183-247.
- GUDMUNDSSON M. (1994). Retrogradation of starch and the role of its components. *Thermochimica Acta*. 246: 329-341.
- HERNÁNDEZ MEDINA Marilyn, TORRUCO UCO Juan Gabriel, CHEL GUERRERO Luis, BETANCUR ANCONA David. (2008). Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México. *Ciênc. Tecnol. Aliment.*, Campinas, 28(3): 718-726.
- HIROSE, S.; DATA, E.S.; QUEVEDO, M.A.; (1984). Changes in respiration and ethylene production in cassava roots in relation to postharvest deterioration. In: I. Hang, J.; C. Bachem; E. Jacobsen y R.G.F. Visser. 2001. Molecular analysis of differentially expressed genes during postharvest deterioration in cassava (***Manihot esculenta*** crantz) tuberous roots. *Euphytica* 120: 85 – 93.
- HIROSE, S. (1986). Physicological studies on postharvest deterioration of cassava plants. *Jap Agric Res Quart* 19: 241-252.
- HIZUKURI, S. 1986. Polymodal distribution of te chain lengths of amylopectins, and its significance. *Carbohydrate Research*. 147:342-347.
- HOOVER, R. (2001). Composition, molecular structure, and physicochemical properties of tuber and root straches a review. *Carbohidrato Polymers*, 45: 253- 267.
- HUNG, P.V. Y MORITA, N. (2005). Thermal and rheological properties of dough and bread asaffected by various cross-linked corn starch substitutions, *Starch/Strake*, 57, 540–546.
- HURTADO, J.J. (1997). Valorización de las amiláceas «no-cereales» cultivadas en los países andinos: estudio de las propiedades fisicoquímicas y funcionales de sus almidones y de la resistencia a

diferentes tratamientos estresantes. Fundación Universidad Jorge Tadeo Lozano, Bogotá. (B.Sc. Tesis). 164 pp.

- HSU, S., LU S., HUANG, C. (2000). Viscoelastic changes of rice starch suspensions during gelatinization. *Journal of food Science*, 65(2): 215-220.
- IFAD y FAO. (2004). Global cassava market study. Business opportunities for the use of cassava. Proceedings of the validation forum on the global cassava development strategy. Volume 6. International Fund for Agricultural Development (IFAD), Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Roma.
- JAYAKODY, L., HOOVER, R., LIU, Q., WEBER, E. (2005). Studies on tuber starches I. Structure and physicochemical properties of innala (*solenostemon rotundifolius*) starches grown in Sri Lanka. *Food Research International*, 38: 615 – 629.
- JAYAKODY, L. Y HOOVER, R.; LIU, Q.; DONNER, E. (2007). Studies on tuber starches. II. Molecular structure, composition and physicochemical properties of yam. (*Dioscorea sp*) starches grown in Sri Lanka, *Carbohydrate Polymers*, 69: 148;163.
- JAYAKODY, L. Y HOOVER, R. (2008). Effect of annealing on the molecular structure and physicochemical properties of starches from different Botanical origins – A review. *Carbohydrate Polymers*.
- JANE, J., CHEN, Y.Y., MCPHERSON, A. E., WONG, K.S., RADOSAVLJEVIC, M., AND KASEMSUWAN, T. (1999). Effects of amylopectin branch chain length and amylose content on the gelatinization and pasting properties of starch. *Cereal Chemistry*. 76: 629-637.
- JANE, J. (2006). Current understanding on starch granule structures. *The Japanese Society of Applied Glycoscience*. 53:205 -213.
- JIMENEZ, H.J. (2006). Estudio de la compatibilidad funcional y estructural de almidón de tubérculo de chayote (*Sechium edule s.*) para la formación de películas comestibles. Tesis, Maestría en ciencias. CINVESTAV-IPN. México, D.F.

- JOBLING, S (2004). Improving starch for food and applications. *Plant Biotechnology*. 7: 210 – 218.
- KARINA LILIBETH RÍOS RÍOS, (2014). TESIS “Análisis comparativo de las propiedades físico-químicas y nutrimentales de almidón obtenido a partir de dos especies de malanga (*Colocasia antiquorum* y *Colocasia esculenta*) cultivadas en el ESTADO DE OAXACA”.
- LALAGUNA, F.; AGUDO, M. (1989). Relationship between changes in lipid with ageing of cassava roots and senescence parameters. *Phytochem* 28: 2059-2062.
- LAMADRID-AVENDAÑO, A., BERNAL-GRACIDA, L. A., MORALES-MEZA, M. G. (2009). Capacidad de adhesión y fermentación a gránulos de almidón de papa por bacterias ácido lácticas silvestres para evaluar su actividad como prebiótico. *Rev. del Centro de Inv. (Méx.)*. 8(31).
- LINDEBOOM, N., CHANG, P.R., TYLER, R.T. (2004). Analytical, biochemical and physicochemical aspects of starch granule size, Whit emphasis on small granule starches: a review. *Starch/ Starke*, 56: 89 - 99.
- LIU Q Y THOMPSON DB (1998). Effects of moisture content and different gelatinization heating temperatures on retrogradation of waxy type maize starches. *Carbohydrate Research*. 314(3-4): 221-235.
- LIU, Q., WEBER, E., CURRIE, V., Y YADA, R (2003) Physicochemical Properties of starch during potato grown. *Carbohydrate Polymers*, 51: 213– 221.
- LOZANO, J.C.; VOCK, J.H.; CASTAÑO, J. (1978). New developementes in cassava storage. *In* Brekelbaum, T., A. Belloti y J.C. Losano (ed.) proceedings of the cassava protection workshop held at CIA, Cali, Colombia , 7-12 November, 197, CIAT, Colombia, Series CE- 14. Pp. 135-142.
- MAIEVES, H.A., D.C. DE OLIVEIRA, J. RODRIGUES FRESCURA, Y E.R. AMANTE. “Selection of cultivars for minimization of waste and of water consumption in cassava starch production”. *Industrial Crops and Products* 33 (2011): 224-228.

- MALI, S.; GROSSMANN, M.; GARCÍA, M.; MARTINO, M. Y ZARITZKY, N (2002). Microstructural characterization of yam starch films. *Carbohydrate Polymers*, 50, 379–386.
- MANNERS, D.J (1989). Recent developments in our understanding of amylopectin structure. *Carbohydr Polym.* 11:87-112.
- MESTRES, C (1996). Los estados físicos del almidón. En: Conferencia internacional sobre Almidón. Propiedades físico-químicas, funcionales y nutricionales. Usos. 8-10 mayo. Quito, Escuela Politécnica Nacional, Instituto de Investigación Tecnológica. pp. 1-16.
- MORENO L.P. & S.M. GOURDJI (2015). El almidón de yuca y su relación con las precipitaciones. CCAFS Info Brief. CGIAR Research Program on Climate Change, Agriculture and Food Security (CCAFS). Copenhagen (Dinamarca). Disponible en línea en: www.ccafs.cgiar.org
- MOORTHY, S.N. (2002). Physicochemical and functional properties of tropical tuber starches: a review. *Starch*, 54: 559-592.
- MOORTHY, S. (2004). *Starch in food: structure, function and applications*. Cambridge: Publishing Limited Woodhead.
- MOORTHY, S.; ANDERSSON, L.; ELIASSON, A.; SANTACRUZ, S. Y RUALES, J. (2006). Determination of Amylose Content in Different Starches Using Modulated Differential Scanning Calorimetry. *Starch/Stärke* 58, 209-214
- NOON R.A.; BOOTH, R.H. (1977). Nature of post – harvest deterioration of cassava roots. *Transactions of the british Mycological Society* 69(2): 287 – 290.
- NOVELO, C. L.; BETANCUR, A. D. Chemical and functional properties of Phaseolus lunatus and Manihot esculenta starch blends. *Starch/Stärke*, v. 57, n. 9, p. 431-441, 2005.
- OWEN FENNEMA. *Química de Alimentos* 3a Edición, Editorial Acribia 1996.
- PÉREZ E., SCHULTZ F., PACHECO DE DELAHAYE E. (2005) Characterization of some properties of starches isolated from

Xanthosoma sagittifolium (tannia) and *Colocassia esculenta* (taro). *Carbohydrate Polymers* 60(2):139-145.

- PLUMBIEY, R.A.; HUGHES, P.A.; MARRIOT, J. (1981). Estudios on peroxidases and vascular discoloration in cassava root tissues. *J Sci Food Agric* 32: 723- 731.
- RICKARD, J.E., COURSEY, D.G. (1981). Cassava storage. I. Storage of fresh cassava roots. *Trop. Sci.* 23(1): 1-32.
- RICKARD, J.E., ASOKA, M. Y BLANSHARD, JMV (1991). The physicochemical properties of cassava starch. *Tropical Science*, 31(2):189-207.
- SANCHEZ, T.; ALONSO, L. (2002). Conservación y Acondicionamiento de las Raíces Frescas. En: *La yuca en el tercer milenio*. Cap 27 pag 503 – 526. Publicación CIAT. Cali, Colombia.
- SÁNCHEZ GONZÁLEZ, I. (2007). Propiedades fisicoquímicas de almidones catiónicos elaborados por extrusión. Tesis de Maestría. Instituto Politécnico Nacional. Centro de Investigación en ciencia aplicada y tecnología avanzada.
- SINGH, S., SINGH, J., KAUR, L., SODHI, N.S. Y GILL, B.S. (2003). Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources – A review. *Food chemistry*, 81:219-231.
- SIVACK, M Y PREISS, J (1998). Starch: Basic Science to Biotechnology. In: *Advances in food and Nutrition Research*. New York, academic press.p41.
- SÍVOLI, L., E. PÉREZ Y P. RODRÍGUEZ (2012). Análisis estructural del almidón nativo de yuca (*Manihot esculenta* C.) empleando técnicas morfométricas, químicas, térmicas y reológicas. *Fac. Agron. (LUZ)*. 2012, 29: 293-313.
- SHI, Y., AND SEIB, P.A. (1992). The structure of four Waxy starches related to gelatinization and retrogradation. *Carbohydrate Research*. 227: 131-145.
- SMITH AM. (2001).The biosynthesis of the starch granule. *Biomacromolecules*, 2: 335-341.

- SKEIST, I (1977). Handbook of Adhesives. 2 ed. New York, Estados Unidos de América. Van Nostrand Reinhold. pp.192-211.
- SKRABANJA, V.; LILJERBERG, H.G.; HEDLEY, C.L.; KREFT, I. Y BJÖRCK. I.M. (1999). Influence of genotype and processing on the in vitro rate of starch hydrolysis and resistant starch formation in peas (*Pisum sativum* L). Journal of Agricultural and Food Chemistry, 47, 2033-2039.
- STICK, R.V. (2001). Carbohydrates. The Sweep molecules of life. Ed. R. V. Stick. Australia. pp 217-218.
- SWINKELS, J.J. (1985). Composition and Properties of Commercial Native Starches. Starch/Stärke, 37(1), 1–5.
- TAGGART, P (2004). Starch as an ingredient: manufacture and applications. In: Eliasson, A-C. Starch in food. Structure, function and applications. Cambridge, Reino Unido. Woodhead Publishing Limited.
- TESTER, F.R. (1997). Starch: The polysaccharide fraction. In Frazier, P.J., Donald, A.M., Richmond, P, (Eds), starch: Structure and functionality, The Royal Society of Chemistry, Cambridge, pp. 171.
- TESTER, F.R. Y KARKALAS, J. (2001). The effects of environmental conditions on the structural features and physic-chemical properties of starches. Starch, 53: 513-519.
- TESTER, F.R., KARKALAS, J., QUI. X. (2004). Starch- composition, Fine structure and architecture. Journal cereales Science, 39:151-165.
- THYS, C.S.R., WESFAHL, H., MARCZAK, D.F.L., SILVEIRA, P.N., CARDOSO, B.M. (2008). Effect of the alkaline treatment on the ultrastructure of C-type starch granules. Biomacromolecules. 9: 1894-1901.
- TORRE, G.L., CHEL, G.L., BETANCUR, A.D (2008). Functional properties of square banana (*Musa balbisiana*) starch. Food Chemistry, 106: 1138-1144.
- URITANI, I; DATA, E.S; TANAKA, Y. (1984). Biochemistry of postharvest deterioration of cassava and sweet potato roots. In: I Uritani

and E.D. Reyes (Eds.) Tropical Root Crops: Postharvest physiology and Processing, JSSP; Tokyo, pp. 61 – 75.

- VALERIA LÓPEZ OLIVIA, (2011). **TESIS DOCTORAL** “Desarrollo, caracterización y aplicación de envases biodegradables a partir de almidón”. Universidad Nacional de La Plata Facultad de Ciencias Exactas Departamento de Química.
- VANDEPUTTE, G.E. Y DELCOUR. J.A. (2004). From Sucrose to starch granule to starch physical behavior: a focus on rice starch. Carbohydrate Polymers, 58:245-266.
- WANG, L.Z., Y WHITE, P.J. (1994). Structure and physicochemical properties of starches from oats with different lipid content. Cereal Chemistry, 71: 443-450.
- WANG, S., JINGLIN. Y., JUIGAO. Y., HAIXIA, C., JILPING. P., HONGYAN. L. (2007). Partial characterization of starches from Dioscorea opposita. Journal of Food Engineering, 11:01-07.
- WHEATLEY, C. (1983). Almacenamiento de raíces frescas de yucca. Guía de estudio. CIAT. Cali.
- WHEATLEY, C; LOZANO, C; GOMEZ, G (1985). Post – harvest deterioration of cassava roots, In: J.H. Cock & J.A. Reyes (Eds.), Cassava: Research, Production and utilization. Pp. 655 – 671. UNDP – CIAT, Cali.
- WHISTLER, R.L. Y DANIEL. J.R. (1984). Molecular structure of starch. Chemistry and technology. Eds. Whistler, R.L., J.N. Bemiller and E.F. Paschall. New York. pp 154-180.
- WHISTLER, R.L., AND BEMILLER J.N (1997). Carbohydrate chemistry for food Scientists. Saint Paul: ACC. pp. 117-151.
- WURZBURG, O.B (1986). Modified Starches: Properties and Uses. Boca Raton, Estados Unidos de América. CRC Press. pp. 4-10, 29-40, 254-256.
- YOSHIMOTO, Y., TASHIRO, J., TAKENOUCHI, T., Y TAKEDA, Y. (2000). Molecular Structure and some physicochemical properties of high amylose barley starch. Cereal Chemistry, 77: 279-285.

- ZAJAC, P. Almidón de maíz, obtención y utilización. Cuba: [s.n], (1989). Editorial Científico, Técnica, p. 92-113.
- ZAPATA G. (2001). Disminución de deterioro fisiológico poscosecha en raíces de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) mediante almacenamiento controlado. BS Thesis. Universidad de San Buenaventura, Facultad de Ingeniería Agroindustrial. Cali, Colombia.

VII. ANEXOS

ANEXO 1

PROPIEDADES BIOMETRICAS DE LA YUCA



Figura 15: N Figura 16: Medida de ancho de la yuca

Elaboración propia

Elaboración propia



Figura 17: Medida de la longitud de la yuca

Elaboración propia

Figura 18: Peso de la yuca

Elaboración propia

ANEXO 2

PROCESO DE LA OBTENCIÓN DE ALMIDÓN DE YUCA



Figura 19: Materia prima
Elaboración propio



Figura 20: Pelado de yuca
Elaboración propia



Figura 21: Lavado y desinfectado
Elaboración propia



Figura 22: Rallado de la yuca
Elaboración propia



Figura 23: yuca rallada
Elaboración propia



Figura 24: lavado de yuca rallada
Elaboración propia



Figura 25: Filtrado
Elaboración propia



Figura 26: Sedimentación
Elaboración propia

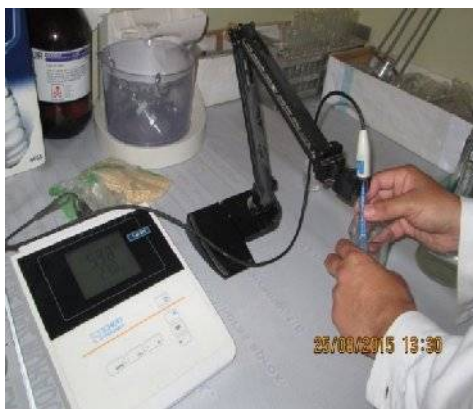


Figura 27: Almidón Sedimentado
Elaboración propia

Figura 28: Almidón fresco
Elaboración propia

ANEXO 3

DETERMINACION DE PH Y ACIDEZ TITULABLE EN LA YUCA



Elaboración propia



Figura 29: Me **Figura 30: Jugo yuca**

Elaboración propia



Figura 31:



Figura 32: titulación 2

Elaboración propia

Elaboración propia

ANEXO 4

DETERMINACION DE PROTEINAS DEL ALMIDON



Figura 33: Digestión de proteínas
Elaboración propia



Figura 34: Destilación

Elaboración propia

ANEXOS 5

**DETERMINACIÓN DE
REDUCTORES**



AZUCARES

Figura 35: Agregado del reactivo de Ross a la muestra con glucosa

Elaboración propia



Figura 36: Muestras con todos los reactivos

Elaboración propia



Figura 37: Muestras después de un calentamiento

Elaboración propia

ANEXOS 6

DETERMINACION DE AMILOSA



Figura 38: adición del yodo a la muestra

Elaboración propia



Figura 39: muestras listas para medir en espectrofotómetro

Elaboración propia

ANEXO 7

TEMPERATURA DE GELATINIZACION



Figura 40: homogenizado de muestra con agua

Elaboración propia



Figura 41: medida de la temperatura de gelatinización en baño maría

Elaboración propia

ANEXO 8

INDICE ABSORCION DE AGUA, SOLUBILIDAD Y PODER DE HINCHAMIENTO DEL ALMIDON



Figura 42: Muestra en baño maría
Elaboración propia



Figura 43: centrifugación
Elaboración propia

ANEXO 9

PROCEDIMIENTOS DE LAS PROPIEDADES FISICOQUIMICAS DEL ALMIDON

VALOR REDUCTOR ALCALINO

Técnica usada (Schoch, 1964)

En el almidón fresco la amilosa y la amilopectina solo contienen un grupo terminal reductor. Si la molécula de almidón se degrada, el número de grupos reductores terminales se incrementa. La estimación de este valor se basa en la capacidad del ferricianuro para reaccionar con grupos terminales reductores en las moléculas de almidón bajo condiciones alcalinas.

Preparación de la muestra Cada cinco costales de 25 kg tomar muestras al azar, mezclar bien, cuartear y tomar 50 g de almidón.

Materiales y equipos

- Balanza analítica con una precisión de 0,0001 g
- Baño de agua con calentamiento constante
- Licuadora
- Probeta graduada de 200 ml
- Balones volumétricos de 100, 500 y 1 000 ml
- Vasos de precipitado de 500 y 1 000 ml
- Algodón
- Papel filtro Whatman N° 1
- Embudo
- Botellas oscuras
- Botellas resistentes al calor con tapa ventilada
- Agua destilada
- Ferricianuro de potasio
- Carbonato de sodio anhidro
- Ácido acético
- Sulfato de zinc heptahidratado
- Cloruro de potasio
- Yoduro de potasio

- Almidón de papa
- Tiosulfato de sodio 0,05 M

Reactivo de ferricianuro alcalino

Disolver 16,5 g de ferricianuro de potasio y 22 g de carbonato de sodio anhidro en un litro de agua destilada; almacenar durante dos días a temperatura ambiente, filtrar para remover el sedimento; la solución debe ser almacenada en una botella oscura a temperatura ambiente, es estable aproximadamente durante dos meses.

Solución sulfato de zinc-ácido acético

Disolver 70 g de cloruro de potasio, 20 g de sulfato de zinc y 200 ml de ácido acético en 1 L de agua destilada.

Solución de yoduro de potasio al 20 por ciento

Disolver 100 g de yoduro de potasio en 500 ml de agua destilada; almacenar en botella oscura protegida de la luz y descartar cuando se observen cambios de color amarillo.

Indicador de almidón

Preparar una pasta de almidón por calentamiento de 2 g de almidón de papa en 400 ml de agua destilada durante 15 minutos; agitar ocasionalmente para mantener los gránulos de almidón en suspensión hasta que se forme la pasta; enfriar la pasta a temperatura ambiente y homogenizar en una licuadora durante cinco minutos.

Análisis

- Pesar 200-250 mg de almidón (bs) en una botella resistente al calor
- Agregar 50 ml de agua destilada

- Calentar en un baño de agua que este en ebullición, durante tres minutos, con agitación constante
- Agregar 25 ml del reactivo de ferricianuro alcalino y cerrar la botella con una tapa ventilada
- Mantener la botella en el baño en ebullición exactamente durante 15 minutos, con agitación ocasional
- Enfriar rápidamente la botella
- Agregar 60 ml de la solución sulfato de zinc y mezclar muy bien
- Agregar 20 ml de la solución de yodo
- Titular con la solución de tiosulfato de sodio

Correr un blanco igual que las muestras (sin calentamiento), titular y adicionar indicador de almidón antes del punto final (cuando el color amarillo del ferricianuro empieza a aclararse).

Cálculos e interpretación de los resultados

$$\text{Numero de ferricianuro} = \frac{(\text{volumen del blanco}-\text{volumen de la muestra}) \times \text{molaridad}}{\text{Tiosulfato} \times 10 \text{ peso muestra (g) bs}}$$

Este valor reductor es útil para indicar la degradación de los gránulos a un nivel molecular; los almidones con un alto valor tendrán propiedades pobres de cocción, formando una pasta débil e inestable.

La forma más común de un aumento del número reductor es a causa de un ataque microbiano; sin embargo, los cambios químicos también pueden incrementar ese valor.

Valores de referencia

El valor reductor o número de ferricianuro de almidones frescos debe ser menor de uno.

ACIDEZ TITULABLE Y PH

Técnica usada (ISI, 1999)

El valor de pH es una medida de la acidez o alcalinidad de una muestra, mientras que la acidez titulable es una medida de la cantidad de ácido presente. El pH es medido con un medidor de pH y la acidez titulable es determinada por titulación con hidróxido de sodio en el cambio final con fenolftaleína y es calculado por la presencia de ácidos presentes como ácido láctico.

Preparación de la muestra

Cada cinco costales de 25 kg tomar muestras al azar, mezclar bien, cuartear y moler 100 g de almidón.

Materiales y equipos

- Balanza analítica con una precisión de 0,01 g
- Medidor de pH (rango de 0 a 14)
- Bureta de 25 ml
- Erlenmeyers de vidrio de 250 ml
- Balones volumétricos de 100 y 200 ml
- Probeta
- Agitador magnético
- Embudo
- Soluciones tampón de pH 4,0 y 7,0
- Hidróxido de sodio 0,1 M
- Fenolftaleína 1 por ciento (p/v en etanol)
- Etanol
- Agua destilada

Análisis

Medida del pH

Calibrar el medidor de pH con las soluciones tampón pH 4,0 y pH 7,0 mezclar 20,0 g de almidón en base seca con 100 ml de agua destilada (previamente hervida para eliminar el CO₂) durante 15 minutos filtrar a través de un papel filtro Whatman N°1 tomar una alícuota y medir el pH con una cifra decimal

Medida de la acidez total

Tomar 50 ml del filtrado y titular con hidróxido de sodio 0,1 N utilizando fenolftaleína como indicador.

Cálculos e interpretación de los resultados

$$N_a \times V_a = N_b \times V_b$$

Dónde:

N_a = normalidad del ácido

V_a = volumen del ácido

N_b = normalidad de la base (NaOH)

V_b = volumen de la base

Con el volumen de neutralización se puede calcular fácilmente la concentración de la solución de los ácidos.

Registrar los resultados como mili equivalentes de ácido láctico por 100 g de muestra seca.

El valor del pH y de la acidez titulable son buenas medidas del grado de fermentación del almidón. El pH disminuye a 4,0 cuando sucede una fermentación ácida. El crecimiento de hongos libera amoníaco e incrementa el valor del pH.

Valores de referencia

El valor del pH en un almidón nativo debe estar entre 6,0-6,5.

La acidez titulable debe estar entre $2,2 \times 10^{-3}$ y 5×10^{-3} meq de ácido láctico/g de almidón.

ANEXO 10

PROCEDIMIENTOS DE LAS PROPIEDADES FUNCIONALES

TEMPERATURA DE GELATINIZACIÓN

Técnica usada (Grace, 1977)

Los gránulos de almidón son insolubles en agua fría; cuando se calientan en solución a temperaturas altas alcanzan una temperatura específica en la cual se inicia el hinchamiento de los gránulos. Esta temperatura es llamada temperatura de gelatinización.

Preparación de la muestra

Cada cinco costales de 25 kg tomar muestras al azar, mezclar bien, cuartear, moler y tomar 100 g de almidón.

Materiales y equipos

- Balanza analítica con una precisión de 0,01 g
- Plancha de calentamiento
- Vasos de precipitado de vidrio de 100 y 250 ml
- Frascos volumétricos de 100 ml
- Pinzas de acero inoxidable
- Termómetro con escala de 0-100 °C

Análisis

Pesar 10 g de almidón (bs) disolver en agua destilada y completar a 100mL.

Calentar agua en un vaso de precipitado de 250 ml a 85 °C.

Tomar 50 ml de la suspensión en un vaso de precipitado de 100 ml.

Introducir el vaso de precipitado con la muestra en el agua a 85 °C.

Agitar con el termómetro constantemente la suspensión de almidón hasta que se forma una pasta y la temperatura permanezca estable por unos segundos.

Leer la temperatura de gelatinización.

Cálculos e interpretación de los resultados

La temperatura de gelatinización se lee directamente en el termómetro.

Valores de referencia

El valor de la temperatura de gelatinización en almidones de yuca varía entre 57,5 - 70 °C.

ÍNDICE DE ABSORCIÓN DE AGUA, ÍNDICE DE SOLUBILIDAD EN AGUA Y PODER DE HINCHAMIENTO

Técnica usada (Anderson et al., 1969)

Cuando se calienta una suspensión acuosa de almidón, los gránulos se hinchan por una absorción progresiva e irreversible de agua aumentando su tamaño. La determinación de estos índices se mide aprovechando la capacidad de absorción del agua del granulo de almidón y la exudación de fracciones de almidón a medida que se incrementa la temperatura de las suspensiones de almidón.

Preparación de la muestra

Cada cinco costales de 25 kg tomar muestras al azar, mezclar bien, cuartear, moler y tomar 50 g de almidón.

Materiales y equipos

- Balanza analítica con una precisión de 0,01 g
- Baño con calentamiento constante
- Centrifuga
- Tubos de centrifuga plásticos de 50 m
- Vasos de precipitado de vidrio de 50 ml
- Horno con temperatura constante

- Pipeta volumétrica de 10 ml
- Pipeteador de 30 ml

Análisis

Pesar tubos de centrifuga secos a 60 °C.

Pesar en los tubos 1,25 g de almidón (bs) y agregar exactamente 30 mL de agua destilada precalentada a 60 °C y agitar (sin excederse).

Colocar en baño de agua a 60 °C durante 30 minutos; agitar la suspensión a los 10 minutos de haber iniciado el calentamiento.

Centrifugar a temperatura ambiente a 4 900 RPM durante 30 minutos.

Decantar el sobrenadante inmediatamente después de centrifugar (máximo un minuto después) y medir el volumen.

Tomar 10 ml del sobrenadante y colocar en un vaso de precipitados de 50 ml (previamente pesado).

Secar el sobrenadante en un horno durante toda la noche a 70 °C.

Pesar el tubo de centrifuga con el gel.

Pesar el vaso de precipitados con los insolubles.

Cálculos e interpretación de los resultados

$$\text{Índice de absorción de agua (IAA)} = \frac{\text{Peso del gel(g)}}{\text{Peso de muestra(g)bs}}$$

$$\text{Índice de solubilidad en agua (ISA)} = \frac{\text{Peso de solubles(g)} \times V \times 10}{\text{Peso de muestra(g)bs}}$$

$$\text{Poder de hinchamiento (PH)} = \frac{\text{Peso del gel(g)}}{\text{Peso de muestra(g)bs} - \text{peso de solubles(g)}}$$

Almidones de buena calidad con alto contenido de almidón y alta viscosidad de la pasta, tendrán una baja solubilidad, alta absorción de agua y un alto poder de hinchamiento.

Alta solubilidad, baja absorción de agua y bajo poder de hinchamiento indican un almidón de baja calidad, el cual al enfriarse produce pastas delgadas y de poca estabilidad cuando se enfrían.

Valores de referencia

El índice de absorción de agua en el almidón de yuca varía entre 0,82 y 15,52 g gel/g muestra; el índice de solubilidad en agua entre 0,27-12,32 por ciento y el poder de hinchamiento entre 0,79 y 15,45.

CLARIDAD DE LA PASTA

Técnica usada (Craig et al., 1989).

La claridad indica el grado de transparencia de las pastas y está directamente relacionada con el estado de dispersión de los solutos y con la tendencia a la retrogradación de los almidones.

La capacidad de estas pastas para transmitir la luz cuando son sometidos al paso de un haz radiante mide su claridad.

Preparación de la muestra

Cada cinco costales de 25 kg tomar muestras al azar, mezclar bien, cuartear, moler y tomar 50 g de almidón.

Materiales y equipos

- Balanza analítica con una precisión de 0,01 g
- Espectrofotómetro
- Baño con calentamiento constante

- Tubos de centrifuga plásticos con tapa de 50 ml
- Agitador de tubo
- Pipeta volumétrica de 5 ml

Análisis

Pesar en tubos de centrifuga 200 mg de almidón (bs),

Suspender el almidón en 20 ml de agua destilada.

Colocar los tubos en un baño de agua en ebullición durante 30 minutos.

Agitar la suspensión cada cinco minutos.

Después de pasados 30 minutos colocar la suspensión en cubetas del espectrofotómetro y dejar enfriar a temperatura ambiente.

Leer el porcentaje de transmitancia a una longitud de onda de 650 nm, utilizando agua destilada como blanco.

Cálculos e interpretación de los resultados

Pastas de almidones que tengan valores de transmitancia menores 40 por ciento se consideran como opacas o turbias.

Pastas de almidones que tengan valores de transmitancia mayores de 40 por ciento se consideran como claras o transparentes.

ANEXO 11

Tabla 13: Composición química de los almidones de makal, camote, yuca y sagú, comparados con otras fuentes.

Componentes (%)	Makal	Camote	Yuca	Sagú	Maíz1	Papa1
Humedad	8.99	9.83	9.48	10.5	9.9	19
Proteína cruda	0.16	0.22	0.06	0.64	0.10	0.06
Grasa cruda	0.19	0.31	0.20	0.36	0.35	0.05
Fibra cruda	0.35	0.28	1.01	0.06	0.62	NR
Cenizas	0.12	0.26	0.29	0.22	0.06	0.40
ELN	99.28	98.93	98.44	98.72	98.93	99.49
Amilosa	23.6	19.6	17.0	22.7	28.3	21.0
Amilopectina	76.4	80.4	83.0	77.3	71.7	79.0

Fuente: Hernández Medina et al 2008; NR = no reportado; y 1Betancur (2001)